

Grado Universitario en Ingeniería Mecánica
2018-2019

Trabajo Fin de Grado

“Diseño de un hospital de campaña”

Álvaro Iglesias Herradón

Tutor

José Antonio Loya Lorenzo

Octubre 2018



Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons
Reconocimiento

RESUMEN

El presente proyecto aborda el diseño de un hospital de campaña. En el primer capítulo se trata de explicar el motivo por el cual se ha realizado este trabajo, cuáles van a ser las herramientas que se van a emplear para la resolución del mismo y que resultados se van a obtener. Entre estas explicaciones se encuentra el programa utilizado para diseñar la estructura. Para un hospital de campaña existen diferentes configuraciones, por lo que se explica cuáles son y por qué se ha escogido este tipo de estructura. Una vez escogida la configuración, se analiza la normativa de aplicación. Conviene dejar claro que la estructura se ha diseñado acorde a la normativa española pero su uso será en terrenos con unas características geográficas equivalentes, como es el caso de la isla de Lesbos.

Como ejemplo de aplicación, se considera su ubicación en la isla griega de Lesbos, por lo que se analiza la localización y la climatología para adecuar el diseño a las condiciones de la zona. Acto seguido se realiza un estudio pormenorizado de las fases que componen el software empleado. Por último se analizan los resultados obtenidos y se realizan las conclusiones sobre el diseño de la estructura.

Palabras clave

Ingeniería; Estructura hinchable; Diseño.

DEDICATORIA

Mi agradecimiento va dirigido a mis padres sin cuyo apoyo no habría sido posible la realización de estos años de carrera y la conclusión de la misma con este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Motivación del trabajo	1
1.2. Características.....	2
1.3. Objetivos.....	3
2. TIPOS DE CARPAS	4
3. ANÁLISIS PREVIO.....	6
3.1. Historia	6
3.2. Fundamentos físicos	8
4. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA.....	11
4.1. Explicación del software	11
5. NORMATIVA DE APLICACIÓN	13
6. DISEÑO.....	15
6.1. Localización	15
6.2. Climatología	16
6.3. Útiles de interés	18
6.4. Material utilizado.....	20
7. DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO	22
7.1. Introducción.....	22
7.2. Geometría del problema	22
7.3. Propiedades del material.....	26
7.4. Ensamblaje de la estructura	28
7.5. Módulo Step	31
7.6. Interacción	33
7.7. Condiciones de contorno y cargas aplicadas	35
7.8. Mallado de la estructura	40
7.9. Módulo Job.....	43
7.10. Visualización	43
8. CONCLUSIONES	45
8.1. Trabajos futuros	50
9. PRESUPUESTO	51
10. BIBLIOGRAFÍA	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Llegada de refugiados	1
Figura 2. Estructura portante neumática	3
Figura 3. Campamentos de emergencia	4
Figura 4: Campamentos de emergencia	5
Figura 5. Frederick William Lanchester	6
Figura 6. Radomo	7
Figura 7. Pabellón de EE.UU, Expo de Osaka 1970.....	8
Figura 8. Diferencia de presión	9
Figura 9. Estructura tubular.....	9
Figura 10. Estructura con aire comprimido.....	10
Figura 11. Estructura soportada por aire	10
Figura 12. Velocidad y dirección del viento	17
Figura 13. Parte creada pórticos	23
Figura 14. Parte creada paredes pórticos.....	24
Figura 15. Trayectoria pórticos	24
Figura 16. Radio pórticos	25
Figura 17. Pared	25
Figura 18. Fachada	26
Figura 19. Datos del material	27
Figura 20. Secciones creadas	27
Figura 21. Asignación de secciones	28
Figura 22. Crear “instance”	28
Figura 23. Ensamblaje vista isométrica	29
Figura 24. Ensamblaje vista alzada.....	29
Figura 25. Error de montaje	30
Figura 26. Tipo de análisis	31
Figura 27. Tiempos de cálculo	32
Figura 28 Parámetros de salida	32
Figura 29. Parámetros de cálculo	33
Figura 30. Contactos y ligaduras.....	34
Figura 31. Crear cargas	35
Figura 32. Peso propio	36
Figura 33. Presión neumática	37
Figura 34. Viento	37
Figura 35. Coeficiente eólico o de presión.....	39
Figura 36. Cargas actuando sobre la estructura	39

Figura 37. Condiciones de contorno	40
Figura 38. Mallado pórticos	42
Figura 39. Mallado paredes	42
Figura 40. Mallado fachada.....	42
Figura 41. Módulo Job	43
Figura 42. Visualización	44
Figura 43. Vista lateral tensiones	45
Figura 44. Vista diagonal tensiones	46
Figura 45. Tensiones máximas.....	46
Figura 46. Desplazamientos máximos	47
Figura 47. Empotramiento adicional.....	48
Figura 48. Vista de planta	48
Figura 49. Vista isométrica	49
Figura 50. Desplazamientos	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Condiciones climatológicas	16
Tabla II. Viento	17
Tabla III. Dimensiones camilla abierta	18
Tabla IV. Dimensiones camilla cerrada	19
Tabla V. Datos de interés	19

1. INTRODUCCIÓN

La realización de este proyecto consiste en el cálculo y diseño de un hospital de campaña o emergencias de estructura portante neumática. El desarrollo de este trabajo no solo se ha enfocado desde el punto de vista ingenieril sino también desde el ámbito humano. Es necesaria una breve explicación para ponerse en situación; desde un principio el objetivo era darle un enfoque realista al proyecto. Como es por todos sabido, en el mundo han ocurrido numerosas catástrofes a lo largo de la historia, tanto ambientales como bélicas, por lo que este trabajo podría servir como un granito de arena.



Figura 1. Llegada de refugiados

1.1. Motivación del trabajo.

Hoy en día siguen ocurriendo este tipo de acontecimientos, como muestra el periódico El Espectador [1], a pesar de los avances que ha experimentado la sociedad. Por todo ello y sin entrar en más detalle, se ha decidido diseñar un hospital de campaña neumático. Es una estructura que se utiliza desde mucho tiempo atrás; adopta numerosas formas y se utiliza para dar apoyo a la población tras un fenómeno catastrófico de cualquier índole.

El motivo por el cual se recurre a este tipo de estructuras es principalmente uno: la facilidad y la rapidez en el montaje. Tras una situación devastadora, lo primordial es ayudar y tranquilizar a la población que se ha visto afectada, por lo que proporcionarles un techo seguro es una de las mejores opciones que se les puede facilitar. Al realizar el proyecto se quería dar un punto de vista humano e ingenieril, en la medida en que fuera posible.

1.2. Características

Se ha escogido este tipo de estructura por tres factores fundamentales que se enumerarán a continuación; se explicarán con mayor profundidad durante la redacción del proyecto:

- Utilización del aire comprimido como medio regulador de la resistencia de la estructura. Se trata de una fuente inagotable, cero contaminante y gratuita, lo que hace muy atractivo su uso.
- Peso de la estructura muy por debajo de otras configuraciones. Esto permite obtener un sistema ligero, lo cual es sinónimo de ahorro de costes en la mayoría de los casos.
- Montaje y mantenimiento. Es una estructura neumática por lo que el único elemento indispensable es un compresor / ventilador para efectuar el inflado de la estructura hasta una presión considerada previamente; no lleva ningún tipo de mantenimiento y no exige conocimientos específicos para poder realizar el montaje, pudiendo almacenarse y empaquetarse para situaciones de emergencia y humanitarias.



Figura 2. Estructura portante neumática

1.3. Objetivos

Lo que se busca con este proyecto es abordar un problema real en el que puede ser útil el trabajo de un ingeniero. Esta estructura conforma la unión de diferentes partes con características y dimensiones idénticas unidas entre sí.

Basta con realizar el diseño de estas partes para posteriormente proceder al ensamble de la estructura global y analizar la presión de inflado necesaria y las cargas a las que se puede encontrar sometida la estructura: viento, nieve, peso propio, etc.

Es de especial interés el hecho de que no sea necesaria la utilización de grúas o estructuras auxiliares para el montaje. Como se ha señalado con anterioridad, el objetivo final de este proyecto es abordar un problema real en el que sea obligatoria la utilización de un hospital de campaña. Situaciones extremas en las que el tiempo es muy importante y no se puede desperdiciar.

Para el diseño de esta estructura se utilizará el método de elementos finitos implementado en el programa de simulación ABAQUS; la idea es explicar paso por paso el diseño de la estructura, desde la elección del material que conformarán los módulos hasta las cargas soportadas por la propia estructura y los puntos en los que parámetros como las deformaciones o los desplazamientos sean críticos. En definitiva, realizar un estudio integral de este tipo de estructuras y analizar en cuyo caso la normativa que le es aplicable.

2. Tipos de Carpas

En este apartado se expondrán los distintos tipos de carpas/estructuras portantes que pueden utilizarse para el caso que se ha descrito en el capítulo anterior y que es objeto de este trabajo.

En el capítulo anterior se han explicado las tres razones por las que se ha escogido un tipo de estructura neumática, por lo que en este caso se van a exponer las configuraciones que podrían desempeñar ese mismo trabajo, utilizando información de la empresa Tent Global [2].y de la empresa Grupo Friends [3].

En primer lugar se encuentran los campamentos de emergencia de despliegue rápido. Son estructuras que a menudo utilizan los cuerpos militares durante maniobras o en el destino que se encuentren. La estructura neumática es la misma que se emplea en este proyecto, es decir, pórticos hinchables que confieren estabilidad a la estructura; además utilizan pórticos rígidos para aumentar su resistencia. En este caso se descartó su uso por dos motivos:

- Dimensiones más reducidas que la estructura neumática utilizada, por lo que existiría limitación de espacio.
- Existencia de elementos rígidos, lo que dificulta el transporte y el montaje.



Figura 3. Campamentos de emergencia

En segundo lugar aparecen los campamentos de emergencia con estructura rígida. Se asemejan a los del caso anterior pero con una ligera diferencia; en este caso no se utiliza ningún elemento neumático, por lo que tampoco será necesario un compresor/ventilador. Consta de pórticos rígidos y de lonas que recubren la totalidad de la estructura. En definitiva, a pesar de presentar uno de los problemas del caso de las carpas “militares”, el uso de elementos rígidos, podría resultar una alternativa viable y económica frente a la estructura utilizada en este proyecto.



Figura 4. Campamentos de emergencia

Por último se expone la estructura neumática que se va a diseñar en este trabajo. El objetivo principal es que la estructura sea fácil y sencilla de montar, a parte de una estructura plenamente funcional. Por eso se escogió una configuración totalmente neumática, en la que solo fuese necesario emplear uno o varios compresores para ser capaces de elevar la estructura. Debido a su diseño, puede ser utilizada para numerosos fines; en este caso, se destinará a ayuda humanitaria.

3. ANÁLISIS PREVIO

Antes de comenzar a diseñar estructuras neumáticas, se considera necesario explicar cuáles fueron sus inicios, cuál ha sido la evolución hasta día de hoy y cuál es el fundamento físico que gobierna este tipo de configuraciones.

3.1. Historia

No se debe retroceder demasiado en el tiempo para encontrar la primera estructura neumática. Antes, elementos como la rueda o el globo aerostático habían sido creados utilizando simplemente aire. Pero no es hasta el año 1917, durante el transcurso de la primera guerra mundial, cuando el ingeniero Frederick William Lanchester dedicado a la automoción, crea la primera patente relacionada con la arquitectura neumática como se muestra en la base de datos de patentes de Google [4]. Su objetivo era crear un hospital de campaña para los soldados británicos que tuviera unas dimensiones considerables y que se pudiera construir sin estacas o soportes.

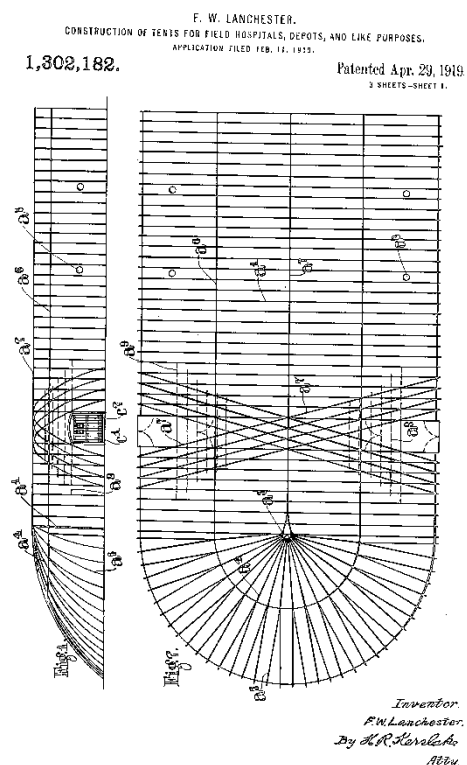


Figura 5. Frederick William Lanchester

En 1946, Walter Bird comenzó a construir albergues de despliegue rápido y lo que se conoce como radomos; se trata de una estructura cuya función principal es proteger una antena de radar. Debido a sus grandes dimensiones, podría llegar a tener 50 m de diámetro, se comenzó a investigar acerca de las estructuras neumáticas y se dieron cuenta de que por medio de un diseño relativamente sencillo, se podría alcanzar una estructura viable y segura y que pudiera albergar a un gran número de personas además de ser empleadas para distintos fines.



Figura 6. Radomo

Aplicando todo lo explicado anteriormente, a partir de finales de los años 50 se emplearon este tipo de estructuras para cubrir grandes concentraciones. Proporcionaban un diseño moderno y vanguardista lo que dotaba a la estructura de una imagen futurista. Alcanzó su máximo exponente en el año 1970 en la Expo de Osaka, Japón. Allí se congregaron multitud de países que acudieron a la exposición. El pabellón de Estados Unidos era uno de los atractivos del certamen ya que contaba con una gran roca lunar procedente de la misión Apolo 11. Los americanos no quisieron dejar escapar esta oportunidad para mostrar al mundo la evolución de las estructuras neumáticas.



Figura 7. Pabellón de EE.UU, Expo de Osaka 1970

Era el elemento neumático más grande utilizado hasta la fecha. Tenía unas dimensiones de 78 m de ancho por 139 m de largo. En su interior se encontraba sostenida por cables perpendiculares entre sí que recorrían toda la superficie de la estructura.

3.2. Fundamentos físicos.

Las estructuras neumáticas son configuraciones formadas por membranas que se encuentran en un estado de pretensión gracias al uso del aire comprimido. Como se ha podido observar en el capítulo 2, en algunos casos se emplean elementos rígidos para proporcionarle a la estructura mayor resistencia y estabilidad.

Este tipo de estructuras se encuentran sometidas solo a esfuerzos de tracción; esto es debido al pretensado que sufren las membranas que componen la estructura. Son configuraciones muy livianas y flexibles, llegando a superar los 100 m de luz. Estas ventajas juegan en su contra a la hora de soportar cargas de viento o de nieve, por lo que su diseño es primordial para conseguir un uso seguro.

El fenómeno físico que explica la sustentación de este tipo de estructuras es la diferencia de presión. Este fenómeno existe entre los elementos portantes por los cuales circula el aire comprimido y la presión del exterior. El valor de la presión necesaria para elevar la estructura debe ser capaz de: efectuar el inflado de la membrana hasta alcanzar un estado de tracción en todas las partes de la misma, para que no se forme ningún pliegue y la estructura pueda trabajar a pleno rendimiento y que este valor no supere la tensión admisible de la membrana. En la siguiente imagen, obtenida de una guía de estudio [5], se muestra esta explicación.

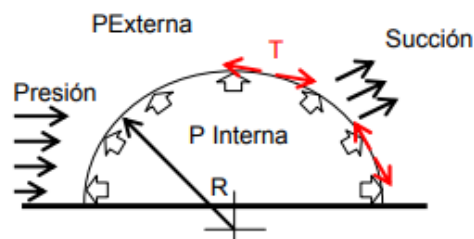


Figura 8. Diferencia de presión

Al tratarse de estructuras cuyos pórticos son elementos tubulares, se puede decir que la presión diferencial entre el interior y el exterior se considera de alta presión, es decir, con valores entre 19 y 686 kPa.



Figura 9. Estructura tubular

A continuación, se explica la clasificación que existe dentro de las estructuras neumáticas; Esta información está corroborada por sendos trabajos referentes a la materia [6] y [7]. Se pueden distinguir dos tipos:

- *Con aire comprimido:* Los pórticos que conforman este tipo de estructuras son tubulares y la presión con la que estos se inflan debe ser mayor que la presión exterior, siendo ésta la presión atmosférica. Si esto no fuera así, se podría dar forma a la estructura portante pero no se podría mantener estable ya que ante cualquier carga aplicada la estructura colapsaría.



Figura 10. Estructura con aire comprimido

- *Soportada por aire:* Esta configuración consta de una membrana que se encuentra tensada gracias a la acción de una presión interna, también mayor que la presión de la atmosfera; en función del signo de esta presión, positiva o negativa, la estructura puede adoptar formas convexas o cóncavas respectivamente. Por seguridad debe constar de dos ventiladores por si uno fallara, para mantener un caudal de aire continuo a la presión estimada para mantener la membrana tensada.



Figura 11. Estructura soportada por aire

4. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

4.1. Explicación del software

ABAQUS CAE. Este programa utiliza el método de elementos finitos para obtener una solución aproximada del problema. Consiste en una técnica numérica que permite resolver multitud de incógnitas dentro de un problema. Se basa en una idea relativamente sencilla: a partir de un sólido deformable, al cual se le aplican cargas y se encuentra bajo unas condiciones de contorno (ligaduras, coacciones, restricciones), el programa divide el elemento en pequeñas partes, que se encuentran conectadas entre sí mediante nodos; estos nodos son los puntos de unión de cada elemento con sus adyacentes.

Se recurre a subdividir el elemento para conseguir una discretización del mismo. De esta manera se conoce lo que ocurre en el interior de cada sección a partir de la interpolación de valores que son conocidos en los puntos de unión, los denominados nodos. Una vez se tiene conocimiento de los desplazamientos que experimentan estos puntos, se pueden determinar las tensiones y deformaciones que tienen lugar en el interior de todas y cada una de las partes en las que se ha discretizado el modelo.

Se considera necesario realizar una puntualización: Los nodos o puntos de unión entre las partes en las que se divide el elemento, son aquellos en los que se obtiene la información referente a los resultados obtenidos; existe un módulo denominado “*mesh*” o mallado, que se explicará posteriormente, que emplea una malla para subdividir el sólido en “celdas” y poder aproximar en cada una de ellas los mismos resultados.

En definitiva, este método consiste en transformar un elemento continuo en un modelo discretizado que resuelve el problema interpolando los valores conocidos en el punto de unión, como pueden ser las restricciones en una determinada dirección, aproximándolos a una solución que el programa pueda resolver.

Es cierto que la versión que se va a emplear en este proyecto tiene restringido el número de nodos que se pueden utilizar.

Tras realizar el cálculo y diseño de la estructura, se obtienen los resultados. Existen zonas donde se producirán máximos y mínimos valores; se debe analizar si estos parámetros se encuentran dentro de los valores límites considerados. Si no es así, el programa permite variar las condiciones de cálculo.

5. NORMATIVA DE APLICACIÓN

Un elemento indispensable a la hora de diseñar una estructura es conocer la normativa que le es de aplicación. En este caso se trata de una configuración temporal que albergará a personas durante el tiempo que se encuentre en uso, es móvil y cuya base tiene un área superior a los 50 m², concretamente 600 m². La norma a la que debe estar sujeto su diseño es según AENOR [8]:

- UNE-EN 13782: Estructuras temporales / Carpas / Seguridad

A continuación, se procederá a explicar y detallar los puntos más importantes de la citada norma para desarrollar una estructura fiable y segura en el tiempo desde el punto de vista del diseño. No se analizará la seguridad de la estructura ni en la fabricación ni durante su funcionamiento, no es objeto de este proyecto.

En primer lugar, los documentos relativos al diseño deben contener la información referente a la resistencia, estabilidad y, por tanto, seguridad de la estructura. Además, en estos documentos deben reflejarse todas las posibles configuraciones que puede adoptar la estructura durante su funcionamiento. En cuanto a la descripción, se deben incluir las características de la configuración, como son las dimensiones de la estructura, las limitaciones que presenta y los materiales que la conforman.

En segundo lugar, las cargas que son necesarias tener en cuenta a la hora de diseñar la estructura. Como toda configuración realizada en nuestro país, se encuentra sujeta a la legislación que rige AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación), plasmada en el CTE (Código Técnico de la Edificación). Las cargas, comúnmente denominadas fuerzas por unidad de área, se las conoce como acciones sobre la edificación; pueden ser permanentes, como es el caso del peso propio de la estructura o pueden ser variables, es decir, valores que debemos tener en cuenta a la hora de diseñar pero que no son fijos en el tiempo: viento, nieve, temperatura, etc.

En el caso de acciones permanentes, este tipo de estructuras presentan una estimación muy precisa. Dentro de este dato se encuentran los referentes a: peso propio de la estructura portante, de los accesorios y del equipo de funcionamiento. Además, para comprobar la estabilidad de la estructura se coloca únicamente sobre la cubierta una carga vertical uniformemente distribuida de valor $0,1 \text{ kN/m}^2$.

En el apartado de cargas de viento, se explicará todo con detalle en epígrafes posteriores ya que es necesario tener en cuenta expresiones matemáticas.

Para acciones referentes al fenómeno meteorológico de nieve, según el Código Técnico, no es necesario tener en cuenta estos valores en lugares donde la probabilidad de nieve sea nula o casi nula. Más adelante se explicará la zona donde se pretende instalar esta estructura y se detallarán las condiciones meteorológicas de la zona durante los últimos años para conocer los factores ambientales que puede experimentar.

En cuanto a las fuerzas sísmicas, la zona a analizar si ha experimentado en los últimos años este tipo de fenómenos. Lo interesante de estas estructuras es que a causa de su configuración neumática se puede considerar que no sufren debido a su flexibilidad y al poco peso de la estructura.

6. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Tras haber realizado una introducción del problema que se va a resolver, explicar los puntos más importantes del funcionamiento del software utilizado y poner de relieve la normativa que le aplica a este tipo de estructuras y a su disposición, se procede a analizar en profundidad el problema elegido.

Inicialmente se explicarán las condiciones geográficas y climatológicas que va a soportar la estructura; posteriormente se detallarán los pasos a seguir para completar el diseño: distribución utilizada, material empleado, cargas aplicadas, condiciones de contorno, etc. Conocidos estos parámetros, se obtendrán resultados referentes a variables de interés como pueden ser los desplazamientos que experimentan los nodos o conocer las zonas donde se producen valores máximos de tensiones y deformaciones.

Por último, se comparará la estructura analizada con las diferentes configuraciones que se podían haber empleado en este trabajo. Se analizarán pros y contras en todos los modelos.

6.1. Localización

La zona geográfica escogida para la localización de la estructura es Lesbos, Grecia. Se trata de una de las islas griegas situada en el mar Egeo que se encuentra más cercana a Turquía, país por el que deben pasar las personas que huyen de las atrocidades de la guerra y poder llegar al continente europeo. En los últimos años ha pasado de paraíso turístico a zona masificada de refugiados. Se cuentan por miles las personas que se encuentran en suelo griego bajo unas condiciones de confinamiento. Por todo esto se ha decidido situar una estructura neumática allí para albergar al mayor número de personas, supeditado a unas condiciones óptimas de habitabilidad y seguridad.

6.2. Climatología

Las condiciones meteorológicas de la zona se detallan a continuación:

TABLA I. CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura durante el día	12°C	15°C	17°C	21°C	24°C	29°C	32°C	32°C	28°C	22°C	19°C	14°C
Temperatura nocturna	5°C	8°C	9°C	11°C	15°C	20°C	22°C	23°C	19°C	15°C	11°C	7°C
Días de lluvia	18	12	11	1	2	0	0	0	3	7	6	4
Días de nieve	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Se ha utilizado una fuente web denominada “hikersbay” [9] que proporciona los datos meteorológicos referentes a temperatura, entre los años 1950 y 2018, lluvia y nieve entre los años 2015 y 2018. Como se ha comentado con anterioridad, la nieve no es un factor a tener en cuenta para diseñar la estructura ya que ha sido inexistente en los últimos tres años. Además, no es necesaria tenerla en cuenta ya que la altura de la estructura es suficiente como para que el viento desplace la nieve y la tire al suelo, anulando cualquier tipo de carga. La lluvia no es abundante durante la mayoría de los meses del año; si es cierto que en los meses de Enero y Febrero es mayoritaria. Este fenómeno no es determinante a efectos de cálculo; sí que será necesario una fabricación y montaje perfectos para no ocasionar desperfectos en la estructura.

El material del que está hecha la estructura es impermeable y no tendrá ningún problema de filtración o permeabilización de agua. Por otro lado, se han analizado datos de la temperatura que tiene la zona durante el día y la noche.

Como se puede observar en la Tabla I, no se experimentan temperaturas extremas en la región; se podría asegurar que la temperatura diurna y la temperatura nocturna oscilan entorno a los 21 y 12 grados respectivamente, por lo que no representan ningún peligro de congelación ni calentamiento de la estructura.

El único fenómeno meteorológico que presenta más atención de cara a los cálculos previos y a posibles daños causados en la estructura es el viento; por este motivo se ha realizado un análisis más en profundidad teniendo en cuenta aspectos como la dirección predominante del viento y su velocidad, los cuales se explican a continuación con la ayuda de tablas: Los datos reflejados en la Tabla II se han obtenido de la web “Windfinder” [10].

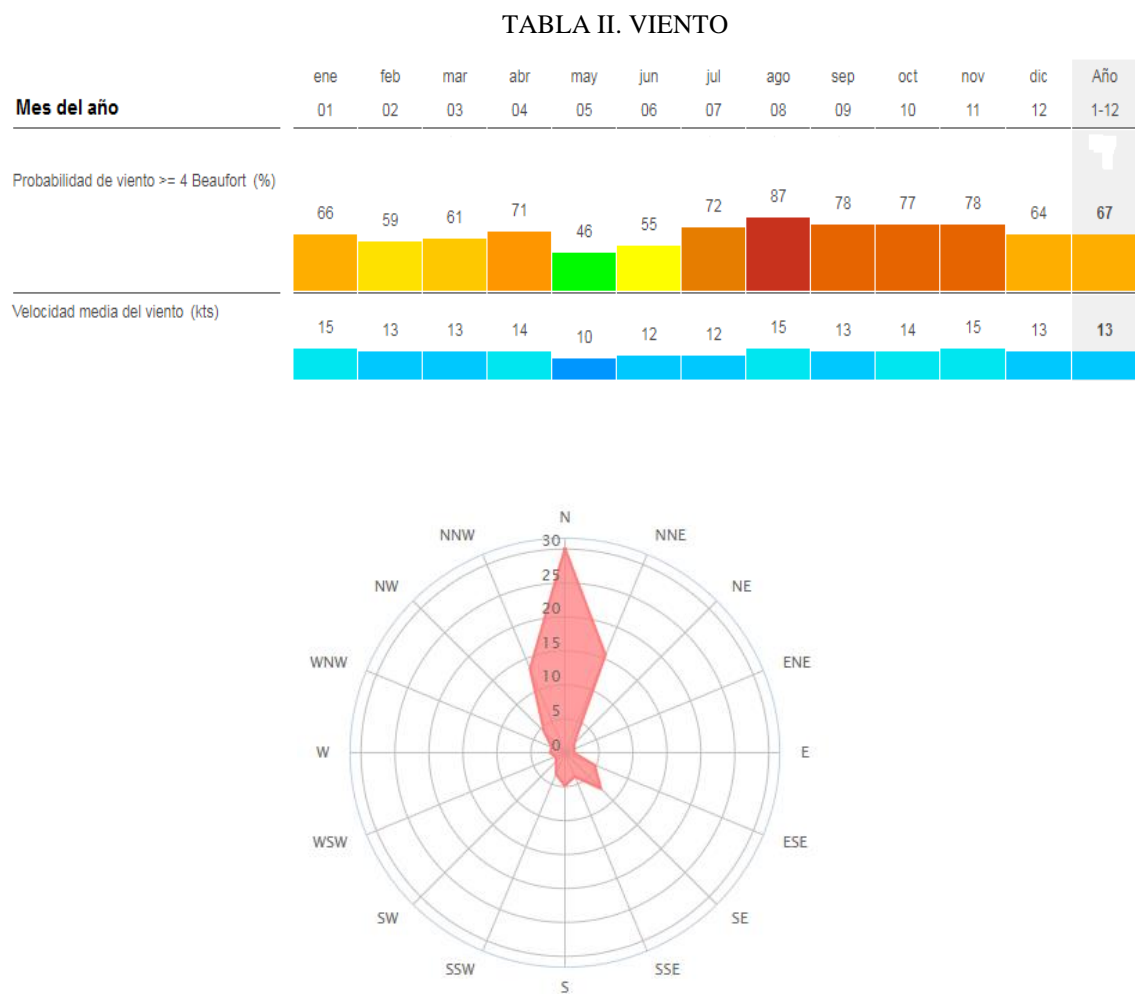


Figura 12: Velocidad y dirección del viento

Al tratarse una zona marítima las condiciones del viento se ven incrementadas. Es por todos sabido que el viento se produce por una diferencia de presión entre las distintas zonas que ocupa el aire atmosférico. En el caso del mar, cuando el sol incide sobre la superficie terrestre calienta tanto el agua como la superficie, pero el agua al tener una gran extensión tarda más en absorber ese calor, lo que provoca una diferencia de temperatura entre las dos zonas, motivo por el cual el aire se mueve.

Como se puede observar en la Tabla II, la probabilidad de que exista viento durante todo el año es siempre superior al 60%. En cuanto a la velocidad del viento, expresada en la Tabla 2 en nudos (kts) cuya equivalencia es: 1 nudo = 1,852 km/h. Se observa que se llegan a alcanzar velocidades de hasta 56 km/h en algunos datos registrados.

Mayoritariamente el viento sopla en dirección norte por lo que la superficie más amplia de la estructura tendrá que ir orientada en perpendicular a esa dirección para que la carga se divida entre los diferentes módulos, por lo que irá orientada al este o al oeste.

6.3. Útiles empleados

Para dimensionar la estructura tendremos en cuenta un factor fundamental: realizar un diseño económico que satisfaga en la medida de lo posible las necesidades de las personas que están habitando la isla. Al mismo tiempo se debe tener en cuenta el fin para el cual ha sido diseñada la estructura; es necesaria una extensión determinada para albergar camillas. Basándose en datos generales de camillas de emergencia y no olvidando el aspecto ergonómico, las dimensiones de cada camilla, según la empresa Zhangjiagang Xiehe Medical [11], serían:

TABLA III. DIMENSIONES CAMILLA ABIERTA

ABIERTA	
Ancho = 0.63m	
Altura = 0.63m	
Largo = 2.06m	

TABLA IV. DIMENSIONES CAMILLA CERRADA

CERRADA/COMPACTA	
Ancho = 0.63m	
Altura = 0.18m	
Largo = 1.08m	

TABLA V. DATOS DE INTERÉS

Fabricante	ZHANGJIAGANG XIEHE MEDICAL APPARATUS & INSTRUMENTS
Modelo	YXH-1EF
Carga máx. (kg)	159
Certificación	ISO 9001

En función de los datos aportados en las Tablas I,II y III, se observa que las dimensiones de las camillas son más que aceptables. Éstas pueden regular su extensión, llegando a alcanzar una longitud superior a los dos metros. El hospital de campaña contará con una superficie cubierta de 600 m², mientras que los pórticos hinchables que conforman la estructura tendrán unas dimensiones de 0,5 m de radio y una altura máxima de 8 m. Si se asume que el 75% de esta superficie irá destinado a la colocación de las camillas, se dispone entonces de 450 m². Según las dimensiones que se han facilitado en la tabla III una camilla ocupa una superficie de 1,3 m²; por lo que, si se deja un espacio entre camillas para poder moverse con facilidad, se pueden utilizar alrededor de 300 camillas dentro de la estructura, alejadas de la intemperie.

6.4. Material utilizado

Se ha considerado de interés el conocimiento del material que se emplea en este tipo de estructuras. Tras una búsqueda sobre los tipos de materiales que se pueden utilizar, los fabricantes diferencian entre dos tipos según las dimensiones de la estructura.

En estructuras grandes se pueden emplear diferentes polímeros: poliéster, nylon o fibra de vidrio; en este caso protegida con teflón. Una de las características de estos elementos es que se pueden mezclar con otros alcanzando propiedades de resistencia y desgaste superiores a si trabajaran individualmente.

A continuación, se va a proceder a explicar las características que presentan cada uno de estos polímeros y cuál será la elección para realizar este proyecto.

En primer lugar, se encuentra el nylon reforzado con vinilo; concretamente el vinilo fundido. Debido a su proceso de producción presenta unas propiedades estables, soportan mayor elongación y sobre todo son muy conformables para estructuras que no son planas, según la información obtenida de la empresa Diagonal 80 [12].

En el caso del poliéster no se estira tanto como el nylon, pero presenta mayor durabilidad y resistencia.

Por último, la fibra de vidrio se encuentra revestida con teflón. El uso del teflón se debe a su condición reflectante y translúcida.; es incombustible y autolimpiable. Proporciona una mayor rigidez y una menor deformación en su configuración.

Para estructuras cuyas dimensiones son reducidas, las lonas naturales o sintéticas pintadas son las utilizadas ya que no son necesarias unas cualidades tan elevadas como en el caso de las estructuras de gran escala.

En este caso se trata de una estructura de grandes dimensiones para albergar a un número de personas elevado; por lo tanto, se pueden descartar las lonas sintéticas o naturales. Entre las tres opciones que presentan las estructuras a gran escala, se ha escogido la fibra de vidrio. Los motivos son los que se han explicado anteriormente: su elevada rigidez y unos valores de deformación menores que los de los otros materiales. Más adelante se va a definir paso a paso el proceso de diseño; en el epígrafe de propiedades del material se detallarán los valores que se han empleado en la estructura.

7. DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO

7.1. Introducción

Como se ha explicado con anterioridad, se ha utilizado el software comercial ABAQUS para resolver el problema. Este programa utiliza el método de los elementos finitos para simular el estado físico en el que se encuentra un cuerpo o estructura ante un estado de cargas o fenómenos físicos. Consigue proporcionar datos relevantes sobre el estado final del elemento mediante la simulación, analizando parámetros que serán muy útiles para su entendimiento.

Se emplea para diseñar componentes estructurales avanzados lo que significa que puede resolver tanto problemas estáticos como dinámicos, sometidos a cargas lineales o no lineales.

El programa divide su uso en 10 “módulos”; cada uno de los cuales conforman una parte fundamental en el diseño de la estructura. En los próximos epígrafes se explicará detalladamente que se realiza en cada uno de ellos.

7.2 Geometría del problema

Este es el primer paso que se debe completar para comenzar a diseñar la estructura en el software. Este módulo se denomina “Part” y en él se crean los diferentes elementos que van a conformar la estructura; se crearán tantas partes como elementos estructurales diferentes existan. En primer lugar, se debe definir el contexto en el que se va a trabajar; en este proyecto se desarrollarán todos los elementos en tres dimensiones, ya que se trata de una estructura real y se quiere conocer su comportamiento físico, asemejándose al máximo a la realidad.

Por otro lado, el objetivo es conocer las deformaciones y los desplazamientos que sufre la estructura cuando se encuentra sometido a uno o varios estados de cargas simultáneos, por lo que se optará por la opción Deformable.

Después, se debe definir lo que el programa llama Base Feature, es decir, la característica principal que va a gobernar el tipo de elemento. En este caso, tendremos que definir dos condiciones diferentes:

Se empleará un único tipo de carpa que la conformarán dos elementos estructurales diferentes: por un lado, los “pórticos” que van a proporcionar estabilidad y altura a la estructura; y por otro lado, la lona/pared; su función será la de unir los diferentes pórticos que conforman la estructura y cubrir los vanos que existen entre los mismos para cumplir su función de “techo”.

Por último, se va a escoger la característica principal para definir el elemento y la forma en la que se va a originar el mismo. Si los elementos estructurales son distintos, como ocurre en este caso, las características serán diferentes: en el caso de los pórticos, al tratarse de una componente con una trayectoria compleja, la mejor manera de definirla es por medio de un barrido; por ello se ha optado por utilizar la función Tipo Sweep. Y en la forma en la que se debería obtener la sección se ha escogido la opción Solid, ya que se trata de un elemento que precisa de cuerpo para desempeñar su función dentro de la estructura.

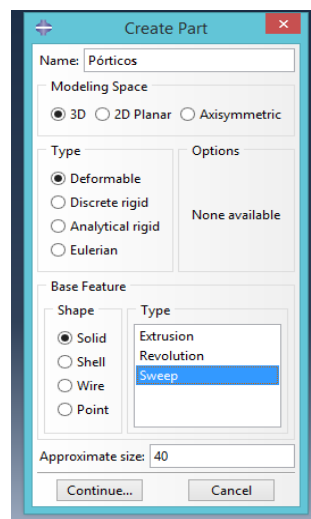


Figura 13: Parte creada pórticos

En el caso de la pared, al tratarse de un elemento con poco espesor, el cual se puede asemejar a una lámina se ha optado por elegir como característica principal la función Tipo Shell y un tipo Extrusion, para proporcionarle ese ancho que precisa cada una de las “paredes” que separan los pórticos y la pared final que actuará como fachada.

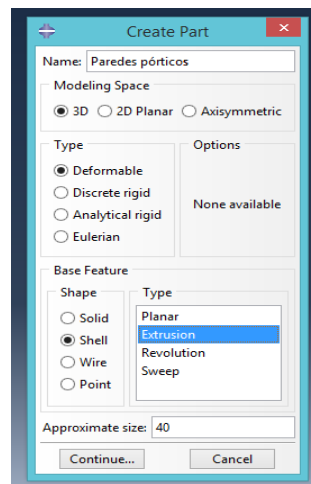


Figura 14: Parte creada paredes pórticos

Una vez se han definido las partes que van a conformar la estructura, se procede a realizar la trayectoria de las mismas:

- Pórticos: Debido a las dimensiones de la estructura, serán necesarios 7 pórticos con un ancho de 20 m y una luz de 8m. El radio de estos pórticos será de 0,5 m.

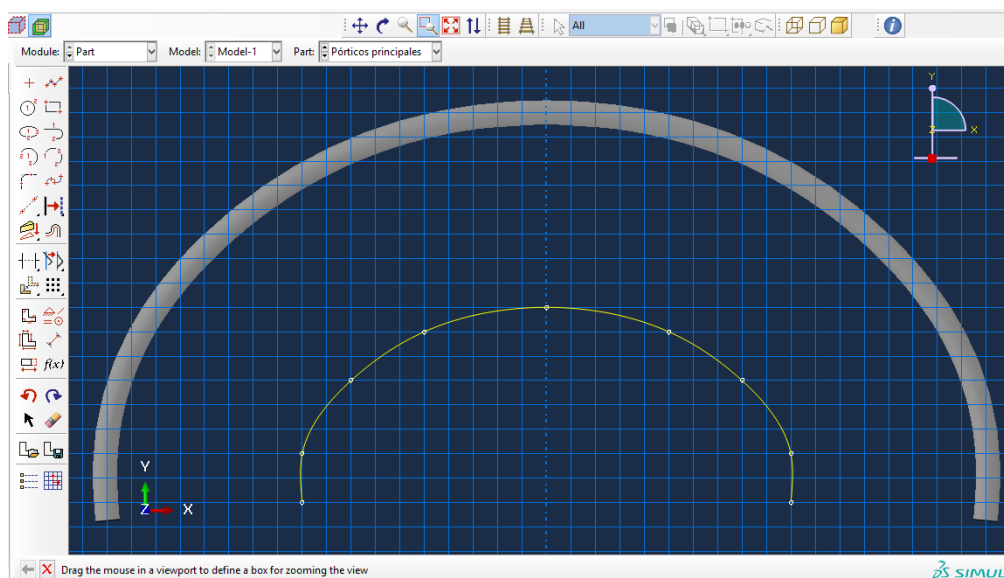


Figura 15. Trayectoria pórticos

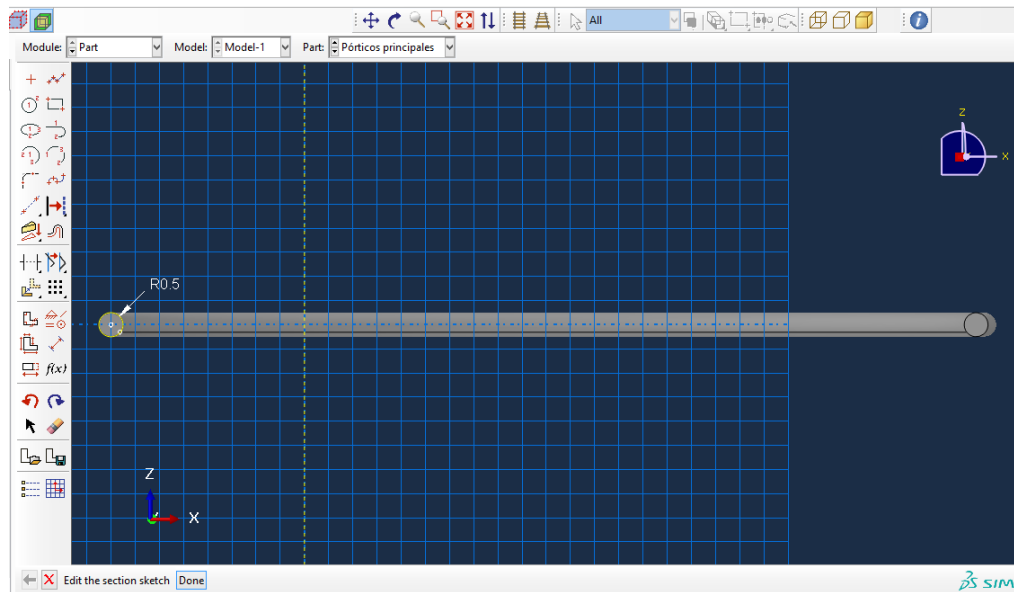


Figura 16. Radio pórticos

- Pared: En este caso son necesarias 6 “paredes” y una fachada para cubrir la parte final de la estructura. En el caso de las paredes que unen los pórticos su perfil es el mismo que el de los pórticos y cuentan con una extensión de 5 m cada una. Para la pared que actúa de fachada sus dimensiones son las mismas que las de los pórticos: ancho de 20 m y una luz de 8 m. Al tratarse de dos paredes contamos con un espesor muy pequeño.

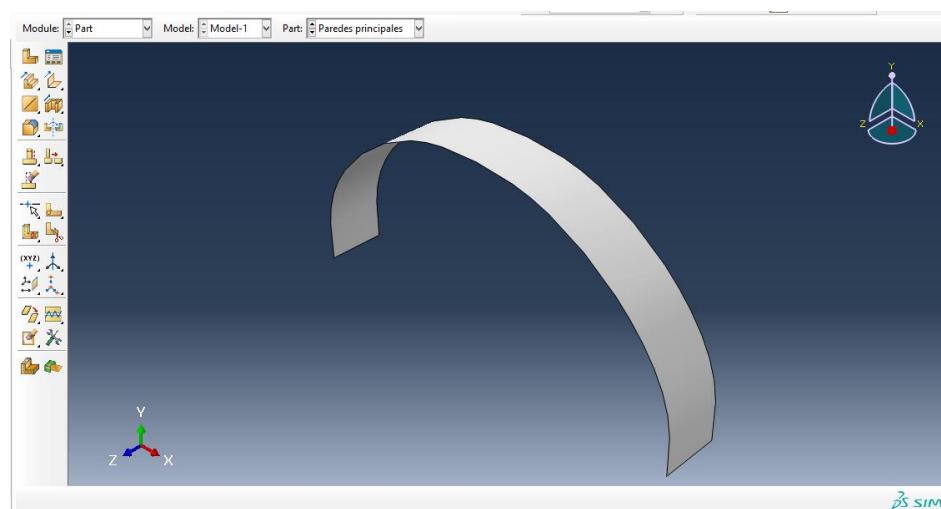


Figura 17. Pared

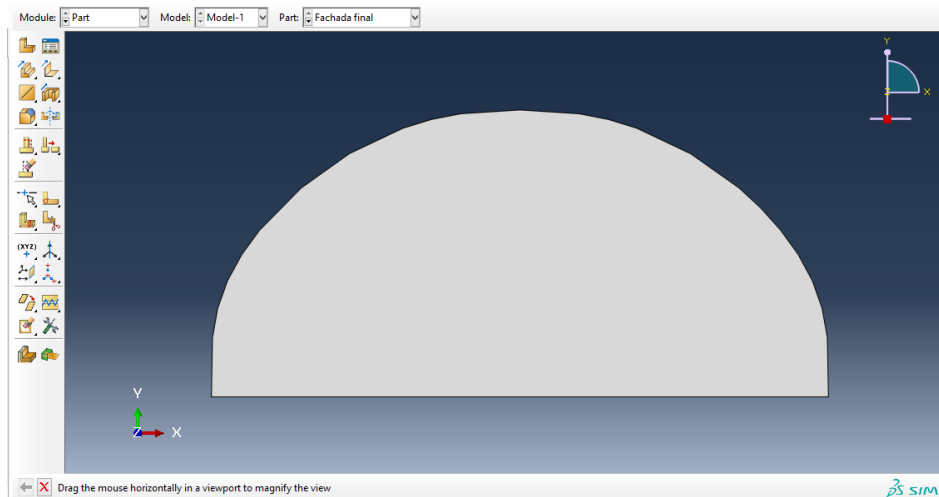


Figura 18. Fachada

Ya se han definido los dos elementos que van a conformar el cuerpo de la estructura y por lo tanto se procede a analizar el siguiente módulo.

7.3. Propiedades del material

En este apartado se asigna a cada elemento (Part), que se ha creado en el módulo anterior, sus propiedades. En primer lugar se debe crear un material. Para ello se deben introducir valores que definan sus propiedades físicas, térmicas, eléctricas, etc. La fibra de vidrio clase “E” según la empresa Fibra de Vidrio Uno [13] presenta los siguientes parámetros:

- Densidad: 2580 kg/m^3
- Tensión de rotura: 3445 MPa
- Módulo de elasticidad en dirección longitudinal: 45 GPa
- Coeficiente de poisson: 0,19

A las tres partes que conforman la estructura se les ha asignado este material.

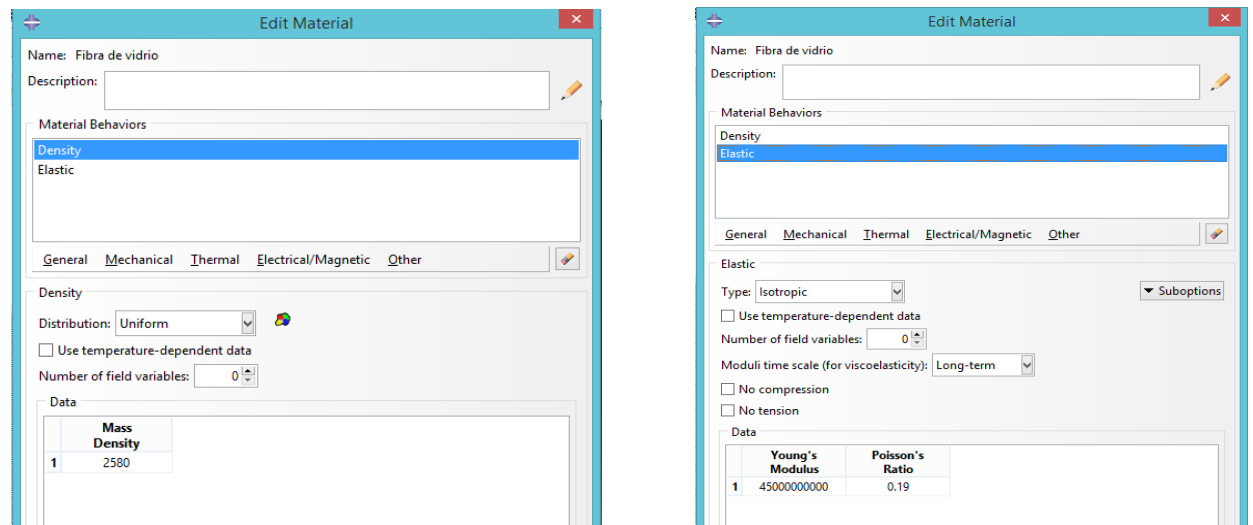


Figura 19. Datos del material

A continuación se debe crear una sección por cada elemento distinto. Este paso es necesario realizarlo ya que el software asigna las propiedades del material a la sección creada y después asocia esa sección con el elemento. Por lo tanto, se obtendrán dos secciones: una para las paredes y otra para los pórticos:

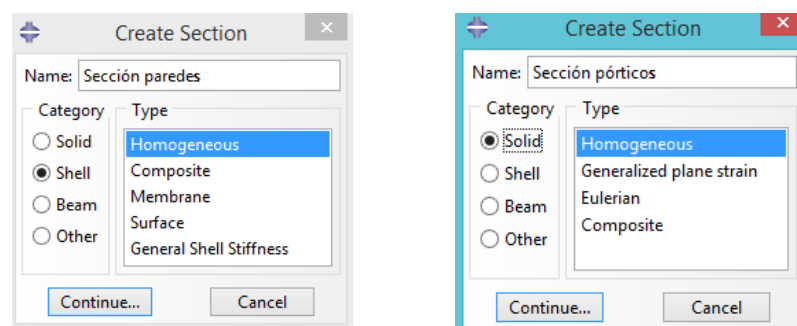


Figura 20. Secciones creadas

Por último, queda asignar a cada elemento su sección correspondiente:

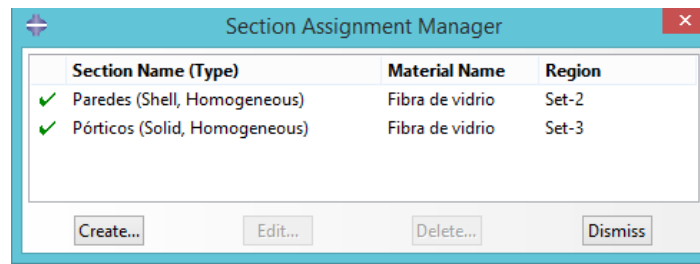


Figura 21. Asignación de secciones

7.4. Ensamblaje de la estructura.

Una vez se han creado las partes que componen la estructura, se ha determinado el material o materiales de los que están hechas estas partes y se les ha asignado una sección, en este módulo se procede al ensamblaje de las mismas. Esto quiere decir que se colocan las partes en la posición relativa que van a ocupar en la realidad. Si existe el caso en el que la parte se utiliza en más de una ocasión, se produce el ensamblaje tantas veces como sea necesario.

Para ensamblar una parte se debe crear una “instance”.

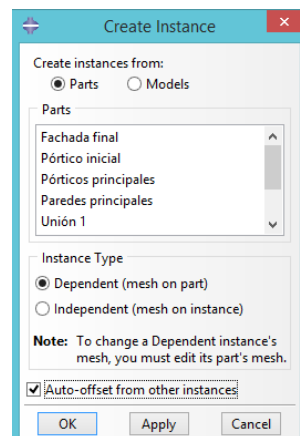


Figura 22. Crear “instance”

Como se puede observar en la Figura 11, cada vez que se crea una “instance” se escoge una parte y se selecciona que tipo de “instance” se va a utilizar, dependiente o independiente.

Existen diferencias entre las dos opciones a la hora de realizar la discretización: en el caso dependiente, la discretización se realiza sobre la parte. Esto quiere decir que si se han creado varias “instances” a partir de una parte la discretización será igual para todas. En el caso independiente, la discretización tiene lugar en la “instance” creada por lo que se realizará una discretización por cada “instance”. En este caso se ha seleccionado la opción “dependent” ya que este problema consta de elementos repetitivos.

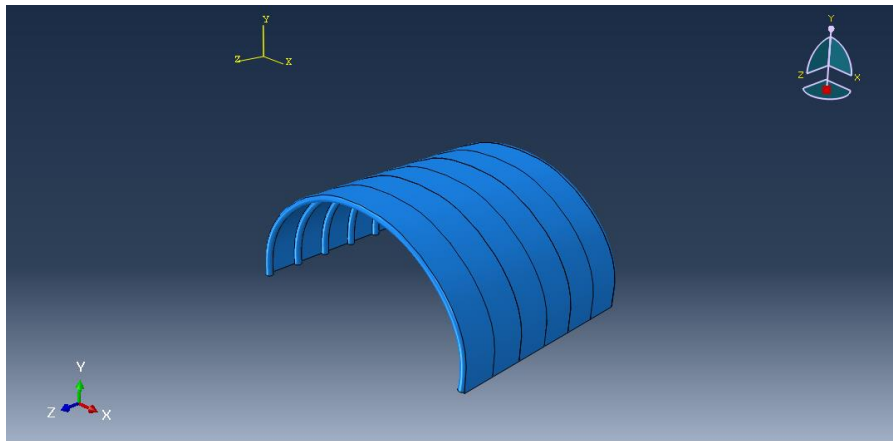


Figura 23. Ensamblaje vista isométrica

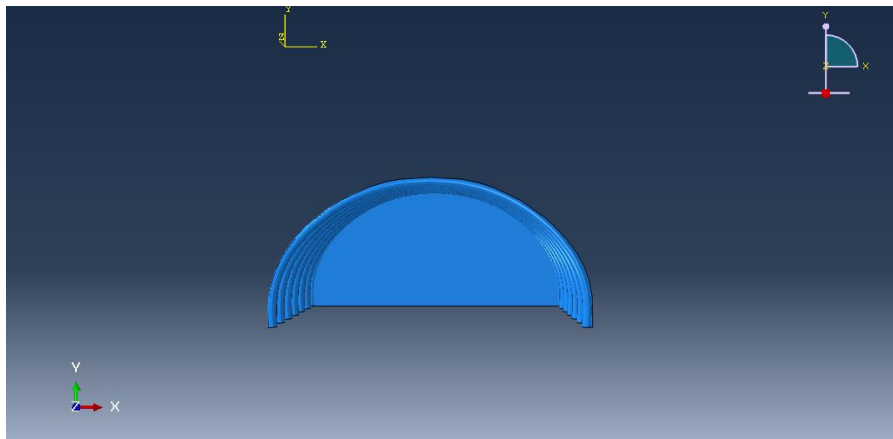


Figura 24. Ensamblaje vista alzada

En este proyecto no se va a entrar en el montaje de la estructura, pero al tratarse de una estructura simétrica y con un numero definido de elementos idénticos que la forman se ha decidido realizar el diseño teniendo en cuenta un montaje que no fuese 100% efectivo, ya sea por el terreno en el que se instalará la estructura o por la pericia de las personas que monten la configuración.

Por ello se ha procedido a desplazar algunos pórticos de su posición de anclaje óptima. Este desplazamiento es del orden de magnitud de 5-10 centímetros por lo que se observará cómo puede afectar esto a la estructura. Posteriormente se dará una solución a este problema.

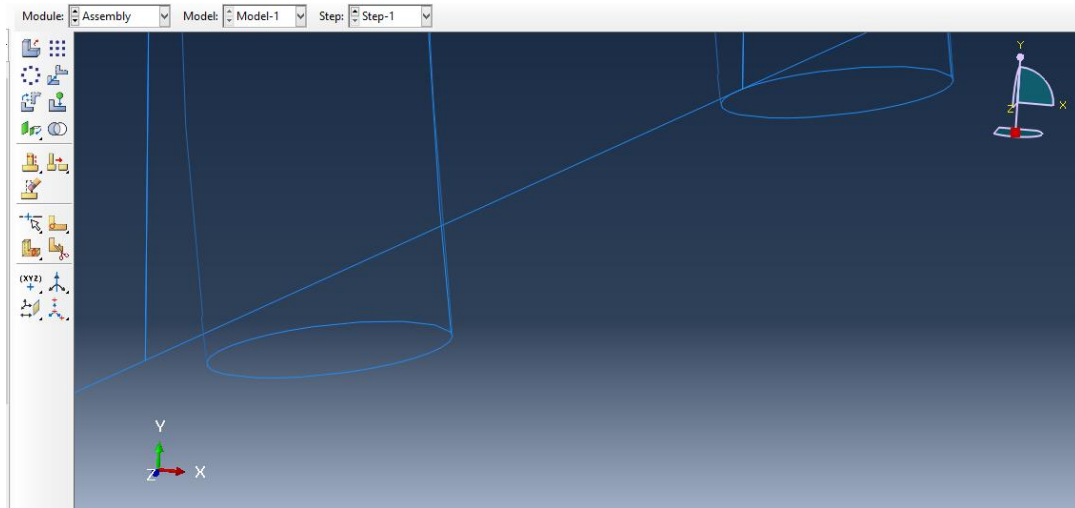


Figura 25. Error de montaje

En la Figura 25 se puede observar el ensamblaje correcto de uno de los pórticos y el ensamblaje desplazado de otro de ellos.

7.5. Módulo Step

En este apartado se determina el tipo de análisis y el tiempo de cálculo con el que ABAQUS va a resolver el problema. Es de suma importancia la elección correcta de estos parámetros. Por cada análisis que el programa realice, ABAQUS utiliza un paso distinto (Step).

Se inicia este módulo creando un *Step* con las condiciones de cálculo requeridas. En este caso se trata de analizar una estructura que va a estar sometida a acciones de carga que se pueden considerar dinámicas.

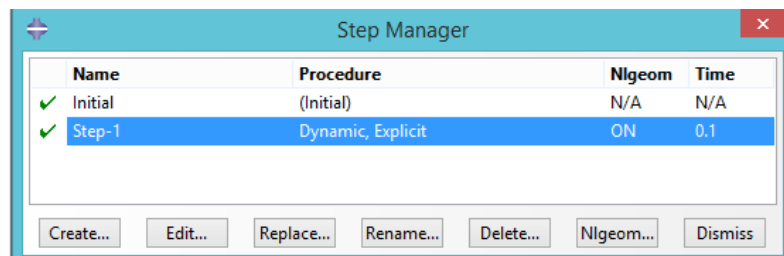


Figura 26. Tipo de análisis

Para la elección del tiempo de cálculo hay que ser especialmente riguroso. Si se utilizan tiempos de análisis muy elevados con respecto a la estructura analizada, el programa tardaría mucho tiempo en procesarlo y podría ocasionar resultados incorrectos. En cambio, si se emplean tiempos de análisis excesivamente cortos podría ocurrir que no se obtuvieran todos los parámetros que le hemos solicitado al programa que nos muestre cuando finalice su análisis.

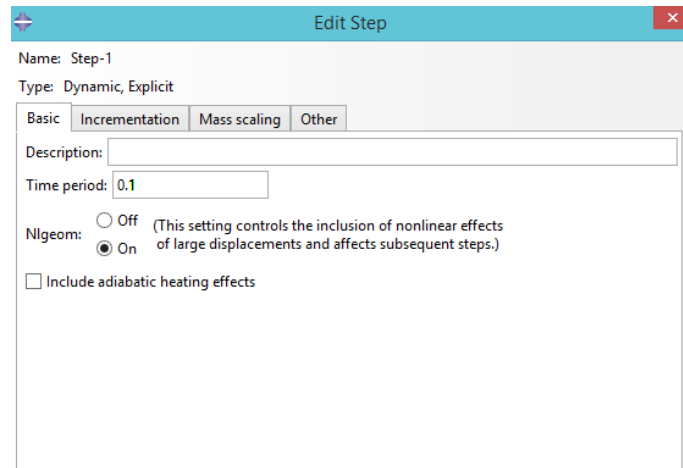


Figura 27. Tiempos de cálculo

En este módulo también se analizan las salidas que queremos obtener del programa. Por un lado se obtienen valores de las variables que provienen directamente de los nodos (Field Output) y por otro lado se obtienen parámetros referentes a toda la estructura (History Output). En ambos casos se escoge la opción Whole model (toda la estructura) para que proporcione los datos requeridos en todo su dominio.

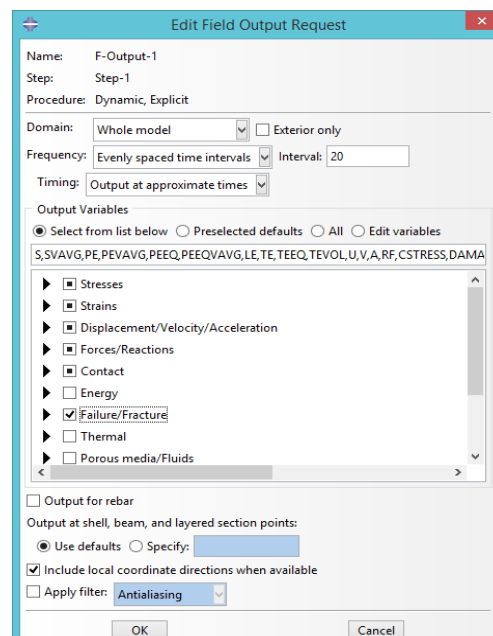


Figura 28. Parámetros de salida

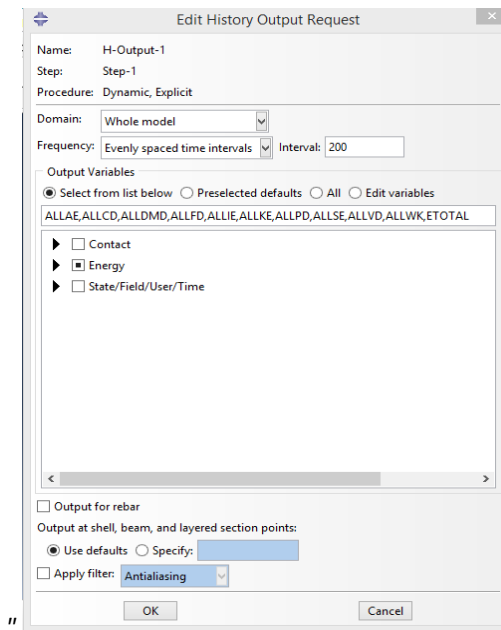


Figura 29. Parámetros de cálculo

7.6. Interacción

En este quinto módulo se define el tipo de ensayo que se quiere realizar sobre la estructura; se trata de una disposición que no es excesivamente compleja por lo que se asumirá que el comportamiento mecánico que experimentan todas las partes que componen la estructura es normal (Normal Behavior); de esta manera se da por sentado que el contacto entre las partes es el mismo, con la excepción de los pórticos que se han colocado desplazados respecto a la posición de anclaje óptima.

Existen otras opciones en el programa como pueden ser el comportamiento tangencial (Tangencial Behavior) o un comportamiento cohesivo (Cohesive Behavior). Además no solo se puede analizar la actuación de la estructura bajo cargas desde el punto de vista mecánico, si no que se puede hacer teniendo en cuenta parámetros térmicos y eléctricos. Ninguna de estas dos últimas opciones es de interés para la consecución del presente proyecto por lo que no se han utilizado y por lo tanto no se han analizado en profundidad.

También se define en este apartado las ligaduras que existen entre las diferentes partes de la estructura. Por medio del menú Create Constraint, el programa deja constancia de los elementos que se encuentran ligados entre sí, ya sea por medio de superficies o de nodos. Le servirá de ayuda a la hora de realizar los cálculos en módulos posteriores.

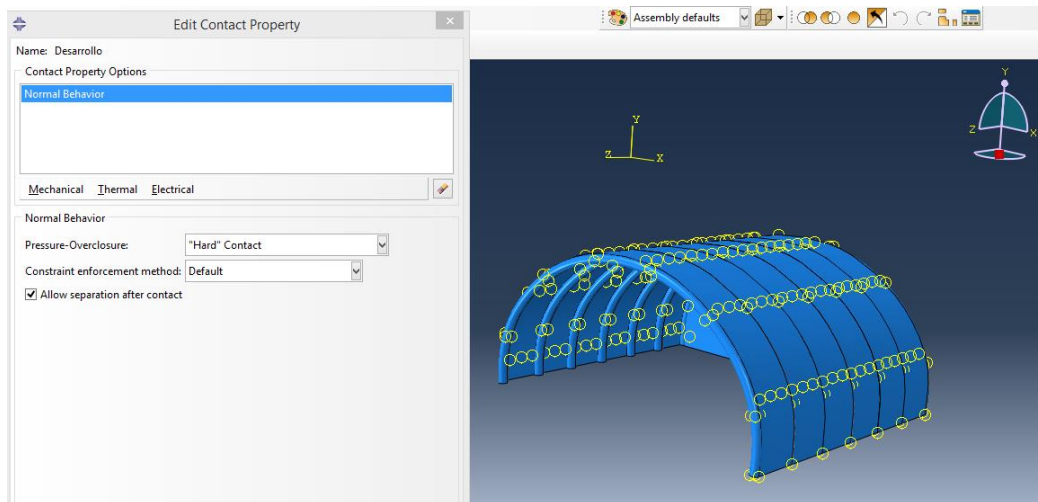


Figura 30. Contactos y ligaduras

7.7 Condiciones de contorno y cargas aplicadas.

Uno de los aspectos más importantes a la hora de definir y calcular una estructura es conocer las cargas a las que se encuentra sometida, las coacciones que presentan los diferentes emplazamientos de la estructura y sus grados de libertad.

Como es lógico, sobre una misma superficie pueden actuar varias cargas simultáneamente; este es uno de esos casos. Para crear una carga se recurre al menú Create Load; tras analizar el desplegable se observa que existen multitud de opciones dentro de las cargas mecánicas, entre ellas: puntuales, lineales, momentos, gravedad, presión, etc. Se deben tener en cuenta tres cargas diferentes, las cuales se van a explicar a continuación:

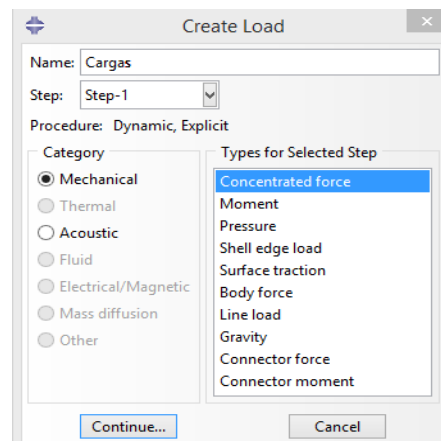


Figura 31. Crear cargas

En primer lugar, existirá una carga de presión. Se trata de una estructura neumática, por lo que resulta indispensable tener en cuenta la presión con la que se elevan los pórticos. En el menú que se acaba de explicar ésta sería una carga tipo *pressure*. Es necesario definir las superficies que se encuentran expuestas a esta carga; en este caso, solo se asignará esta carga de presión a los pórticos que conforman la estructura, no a las paredes.

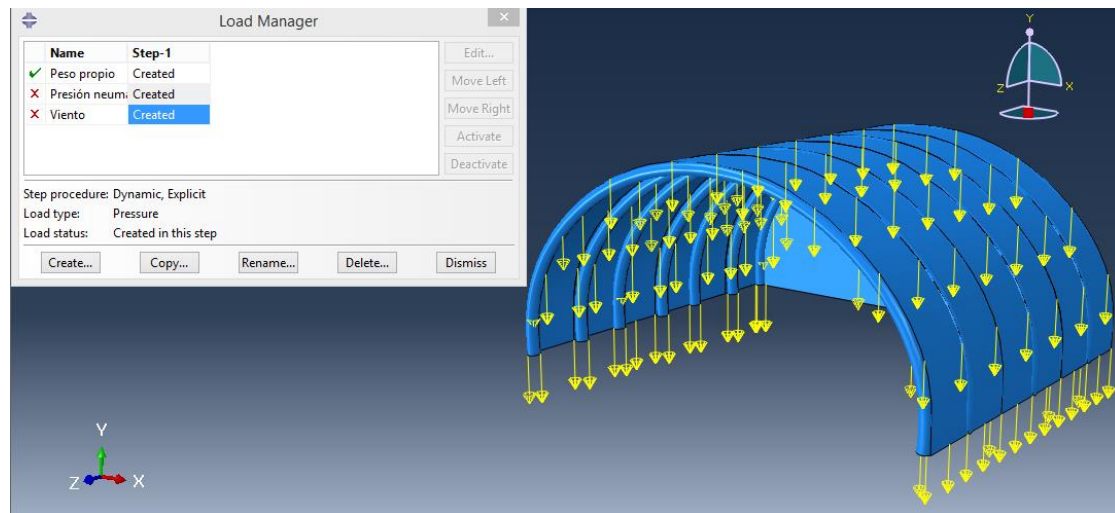


Figura 32. Peso propio

El programa pregunta en qué lado se pretende aplicar la carga, por el interior de la estructura o por el exterior; como se trata de una estructura neumática, el objetivo es que la carga de presión actúe como succión para favorecer su disposición y estabilidad. También se debe definir el momento (Step) en el que va a actuar esta carga. Tanto en ésta como las demás cargas se desarrollarán en el Step 1. Por último, se debe asignar un valor, positivo o negativo. En este caso, 5000 N/m^2

En segundo lugar se define la carga debida al propio peso de la estructura. Para este caso se ha escogido una carga tipo *body force*. Se asignan las superficies sobre las cuales actúa esta carga; en este caso como se trata del peso propio de la estructura, la carga actuará sobre toda la superficie. Su valor es de -3000 N/m^2 en el Eje Y; es negativo y solo experimenta carga en este eje ya que trabaja siempre en el sentido contrario a la acción de la gravedad.

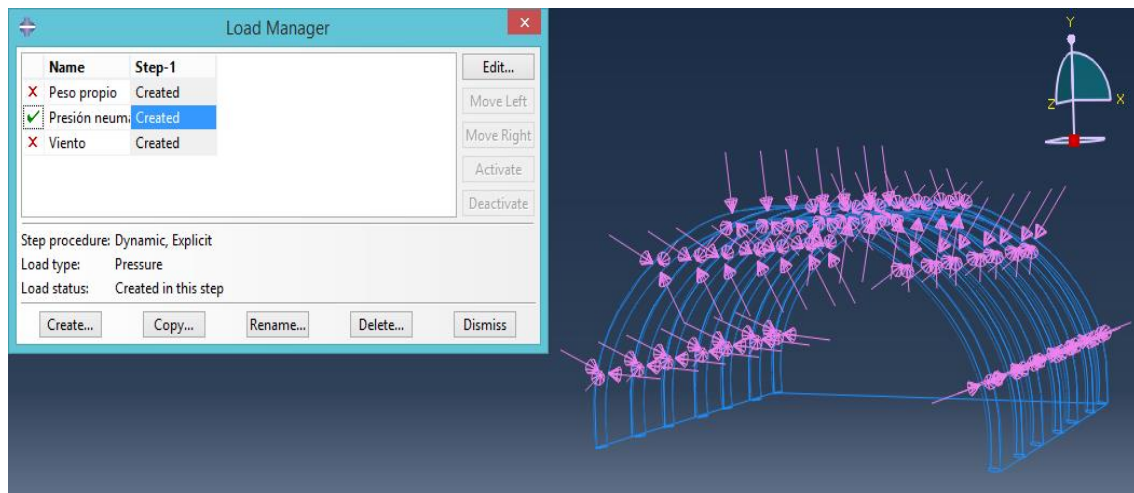


Figura 33.Presión neumática

Por último, se debe tener en cuenta la carga de viento. Esta carga es la más crítica a la hora de dimensionar la estructura. Las dos cargas anteriores son indispensables, es decir, la carga de presión es necesaria porque si no es imposible elevar la estructura del suelo; por otro lado, la carga debida al peso propio de la estructura siempre estará presente debido a las densidades de los materiales que conforman la estructura. En cambio, la carga de viento es intermitente; por lo que se debe dimensionar para el peor de los casos posibles.

Se vuelve a recurrir a la carga *pressure* para dimensionar la carga de viento. Pero en este caso se selecciona la totalidad de la estructura, pórticos y paredes, ya que esta acción meteorológica actuará sobre el conjunto. Otra de las diferencias que presenta con respecto a la carga de presión es que esta carga de viento será aplicada por la parte exterior de la estructura.

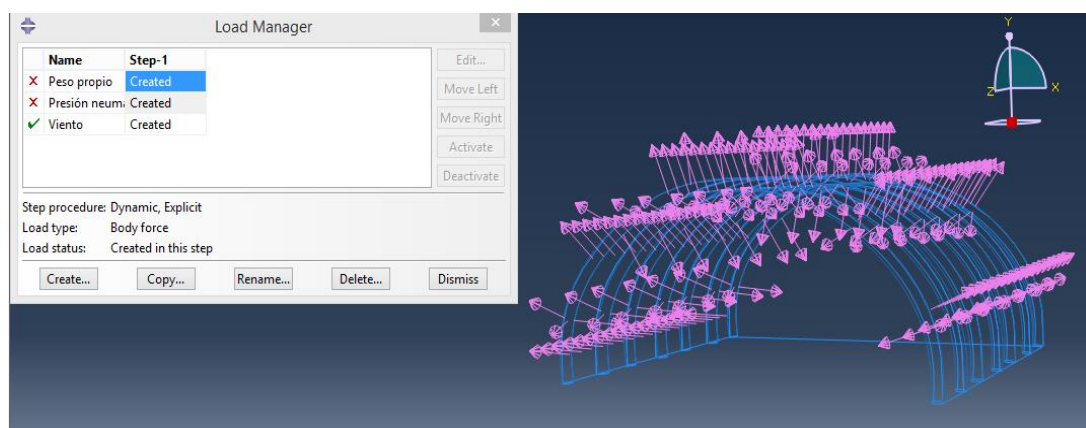


Figura 34.Viento

Para conocer su valor se ha recurrido al CTE.SE.AE (Código Técnico. Seguridad Estructural. Acciones sobre la edificación) a pesar de que la normativa no es la misma que en el país donde se va a desarrollar el proyecto. Por lo tanto se recurre a estos datos porque son más restrictivos que los que se podrían aplicar en cualquier otro caso ya que se trata de estructuras rígidas. Todo lo expuesto a continuación, hasta que no se diga lo contrario, es información obtenida directamente del Código Técnico:

La acción del viento se obtiene por medio de la siguiente fórmula:

$$q_e = q_b \times c_e \times c_p$$

- q_b : Presión dinámica del viento: De forma simplificada puede adoptarse $0,5 \text{ kN/m}^2$.
- c_e : Coeficiente de exposición: Este dato varía con la altura del punto más alto de la estructura, en este caso 8 m, y con el grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción; se puede asemejar a un grado III, Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o pequeñas construcciones. Por tanto, su valor es de 2,3.
- c_p : Coeficiente eólico o de presión: Dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento. En este caso y debido a este coeficiente se obtendrán dos cargas de viento, una de succión, positiva, contraria al sentido de la gravedad y otra de presión, negativa, a favor de la gravedad. Esto ocurre porque se trata de una estructura abierta, por lo que el viento no solo incide sobre la superficie exterior de la estructura, sino que también lo hace por el interior, por lo que es necesario tenerlo en cuenta.

Tabla D.12 Cubiertas cilíndricas

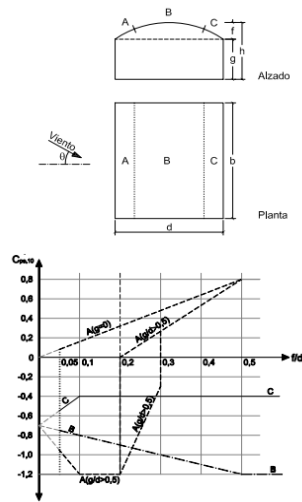


Figura 35. Coeficiente eólico o de presión

Como se puede observar en la Figura 35, para la obtención de este valor se ha asemejado la estructura neumática a una estructura rígida con cubierta cilíndrica. En este caso el valor g/d (alto los pilares / ancho de la estructura) se encuentra entre 0 y 0,5 por lo que el valor de C_p se obtiene por medio de interpolación de las rectas de la gráfica superior. Su valor es de 0,4.

Por lo que el valor de la carga de viento para succión como para presión es $\pm 0,46 \text{ kN/m}^2$.

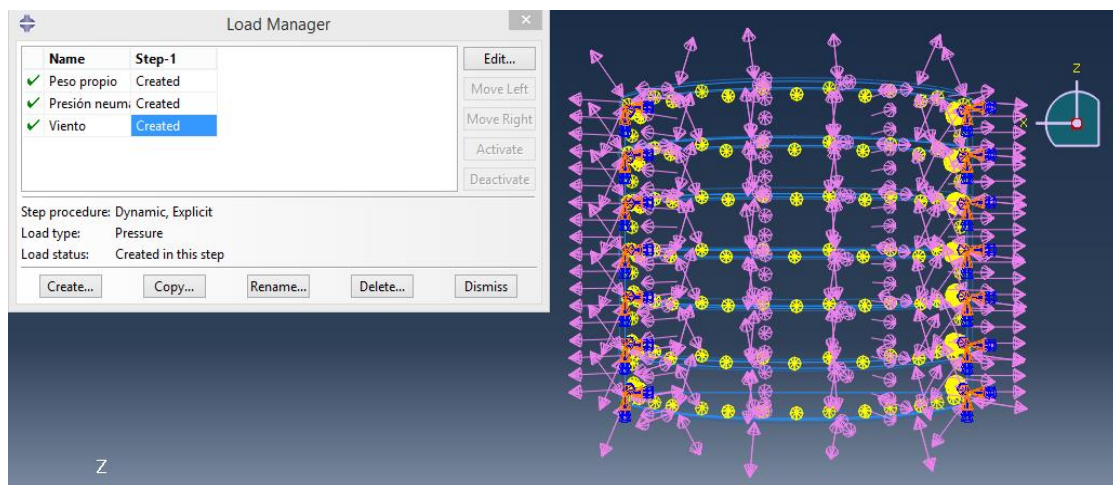


Figura 36. Cargas actuando sobre la estructura

Una vez se encuentran definidas todas las cargas que van a actuar sobre la estructura, se fijan las condiciones de contorno y las restricciones a las que están sometidas las diferentes zonas de la estructura. Para esta configuración se han escogido un tipo de restricciones: empotramientos. Éstos están destinados a la parte de los pórticos y de las paredes que se encuentran en contacto con el suelo, se ha diferenciado entre el lado izquierdo y el lado derecho; esta opción permite restringir todos los grados de libertad del elemento que hayan sido seleccionados.

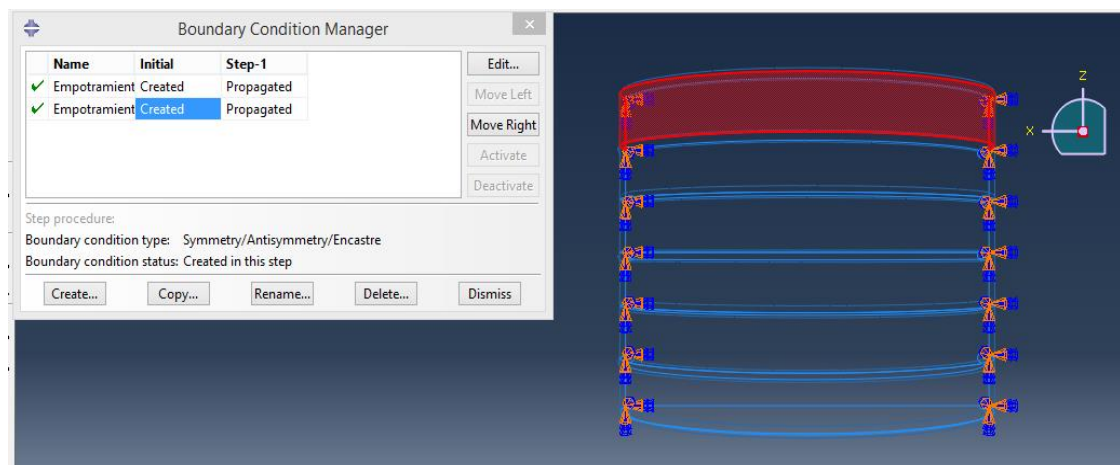


Figura 37. Condiciones de contorno

7.8 Mallado de la estructura

ABAQUS emplea el método de elementos finitos para resolver los problemas que se le plantean. Como se explicó anteriormente, este procedimiento consiste en discretizar el elemento o la estructura que se está analizando para que el programa pueda resolver las ecuaciones en elementos más pequeños, para posteriormente agruparlos en una única solución.

La discretización de la estructura se realiza mediante el mallado; consiste en utilizar una malla alrededor de la estructura. Cuanto más pequeña sea la malla mayor número de nodos se crearán, será mayor el análisis que realice el programa y por lo tanto la exactitud en los resultados será más elevada.

Esto lleva consigo dos problemas: el primero es que en la versión que se está utilizando para este proyecto el número de nodos que se pueden emplear se encuentra limitada a 1000; parece un número elevado, pero no es así cuando se analiza una estructura con bastantes elementos y de grandes dimensiones. Por otro lado, aunque no existiera esta restricción, tampoco se puede realizar una malla muy pequeña porque el programa tardaría mucho tiempo en obtener los datos e incluso podría provocar errores en la obtención de los resultados.

Para que ninguno de estos dos casos ocurra, se recurre a realizar un análisis de sensibilidad de la malla. Consiste en que el programa estima cual tendría que ser la distancia entre las partes que conforman la malla para que el resultado fuera adecuado.

Se puede elegir la distancia que debe haber entre dos elementos que conforman la malla, la forma que tienen estos elementos (triangulares, rectangulares, etc) y además se pueden mallar dos zonas de una misma parte de forma diferente. Esto puede resultar útil en aquellos casos en los que exista una zona de la estructura que puede resultar crítica. Esto no ocurre en este caso y todo el mallado se realizará por igual en cada parte

Es importante aclarar que dependiendo de la forma en la que se hayan ensamblado las distintas partes de la estructura, de manera dependiente o independiente, el mallado se tendrá que realizar sobre cada parte diferente o se podrá mallar directamente la estructura, respectivamente. En este caso, el ensamblaje de las distintas partes se realizó de manera dependiente, por lo que el mallado se ha tenido que realizar sobre cada una de las partes de la estructura: pórticos, paredes y fachada.

Para especificar las distancias entre los elementos de la malla y la forma que estos deben tener se han ido probando diferentes configuraciones hasta obtener resultados que no variaran entre sí y con datos de tiempo aceptables

La malla que se emplea para discretizar los elementos que conforman la estructura es relativamente gruesa debido a las limitaciones de nodos que aparecen en esta versión del programa.

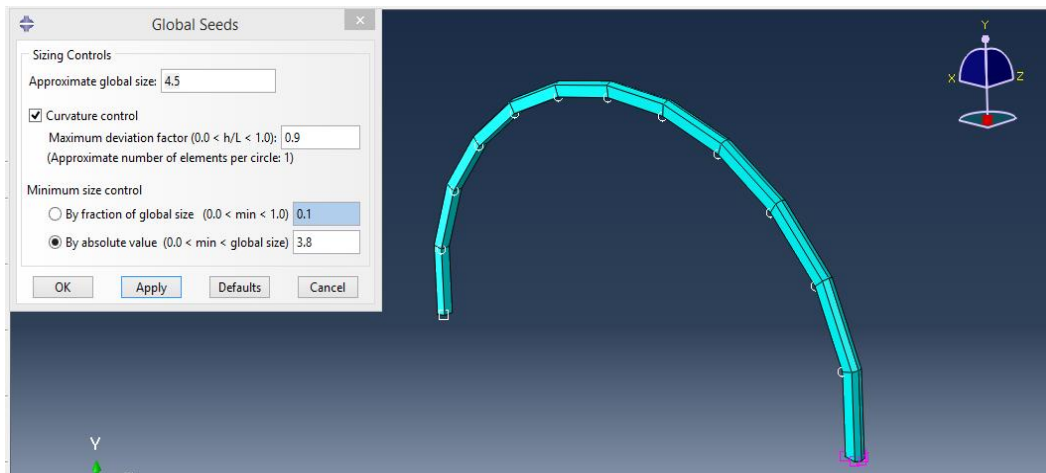


Figura 38. Mallado pórticos

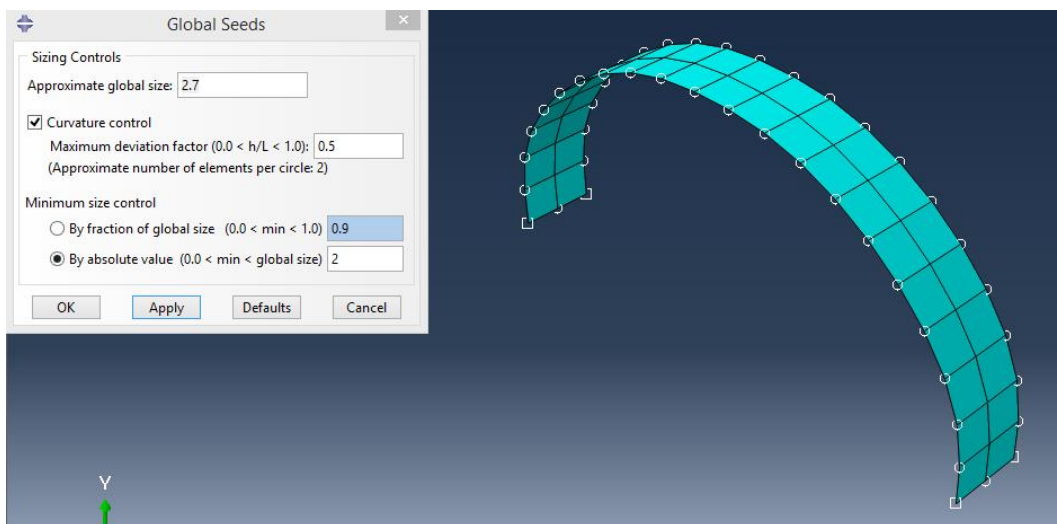


Figura 39. Mallado paredes

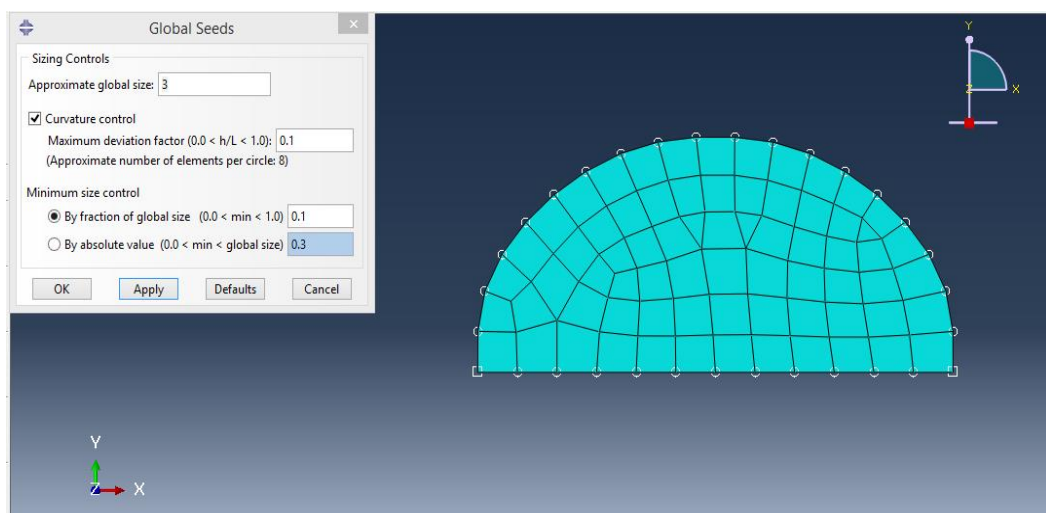


Figura 40. Mallado fachada

7.9 Módulo Job

Hasta aquí llegan los módulos pertenecientes a ABAQUS CAE. Es el noveno de los módulos y su función principal es generar las ecuaciones necesarias para resolver el problema con todas las condiciones que se han planteado en los módulos anteriores. En este módulo se crean nuevos archivos, los cuales se podrán ver posteriormente en el último módulo, visualización. Éste ya no pertenece a la extensión CAE sino que se encuentra fuera del software de elementos finitos. Por lo tanto, el modulo Job conecta el cálculo de todas las condiciones del problema, CAE, con su posterior resolución y visualización, STANDARD. Los archivos que crea este módulo son los siguientes.

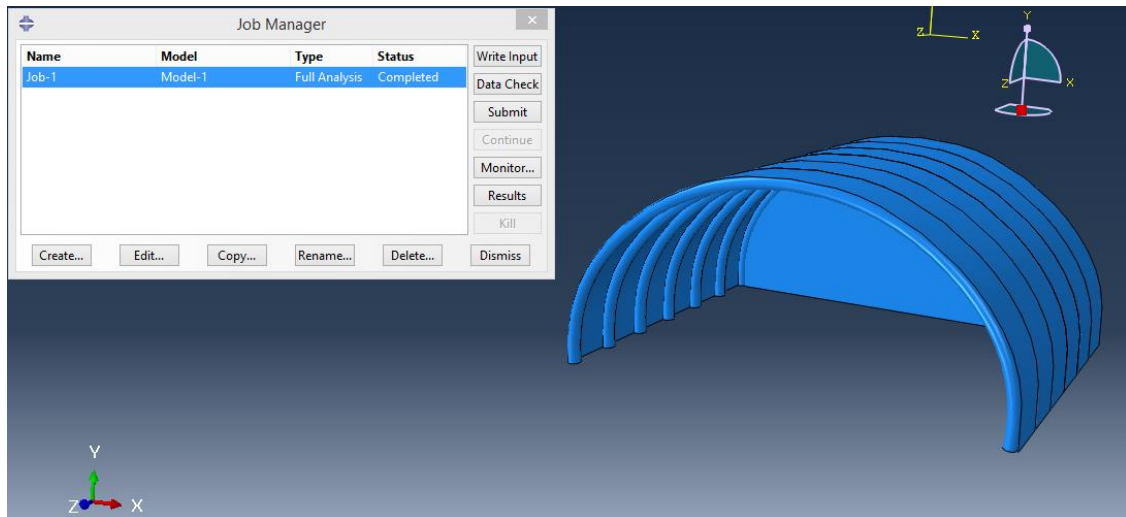


Figura 41. Módulo Job

7.10 Visualización

Este es el último módulo que compone el software comercial de elementos finitos ABAQUS. Como se ha explicado en el apartado anterior, este módulo pertenece a ABAQUS Standard.

Es la última parte del proceso de análisis y simulación; ya se han especificado: los elementos que van a componer la estructura y cuál es su geometría. Las propiedades de todas y cada una de las partes creadas, el ensamblaje entre las mismas, así como las uniones que presentan unos elementos con respecto a otros. Se ha definido de manera detalla las cargas que es capaz de soportar la estructura y las coacciones a la que se encuentran sometidos las partes que la componen, especificando los grados de libertad que poseen en cada caso.

Para que el programa realice un análisis detallado y acorde a los resultados que se obtendrían en un ensayo real, se debe realizar un mallado de la estructura. Por último, se visualizan estos datos en el último modulo del programa y se analizan los datos que se han obtenido. Como es lógico no se puede proceder a analizar este módulo si los archivos de ABAQUS CAD no han sido creados, por lo que el programa obliga a completar los módulos con anterioridad.

Presenta multitud de alternativas para poder analizar los diferentes resultados: desplazamientos, deformaciones, tensiones, gráficas, animación, etcétera.

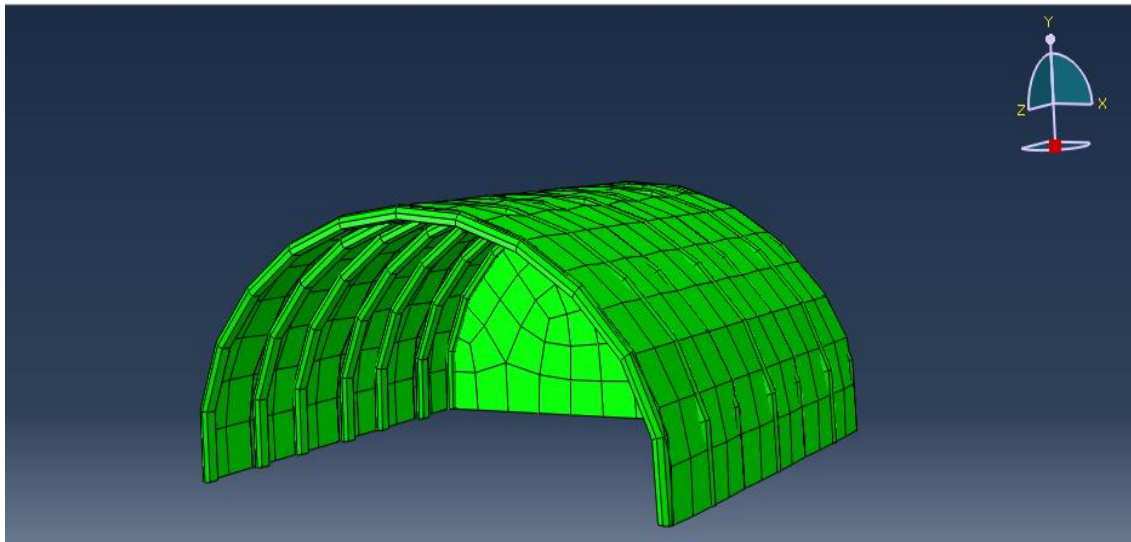


Figura 42. Visualización

8. CONCLUSIONES

Una vez se ha realizado y completado la totalidad del programa, se procede a analizar los resultados obtenidos en el módulo visualización. En este capítulo se van a analizar todos los datos que se le han pedido al programa que calcule en el módulo Step, como son las tensiones que experimentan cada una de las partes en las que se ha dividido un elemento (mallado) pudiendo así estudiar sus valores límites o las deformaciones que sufre un determinado punto de la estructura.

Es necesario dejar claro que solo se ha creado un Step; esto quiere decir que solo existe un momento “físico” en el cual se van a aplicar todas las cargas. Estas condiciones no se aplican de manera instantánea, sino que se llevan a cabo de manera incremental, en espacios de tiempo infinitesimales que le sirven al programa para realizar los cálculos pertinentes y así asemejarse a la condición más real posible.

Recordad también que este diseño de la estructura se ha realizado con algunos pórticos, concretamente cuatro, desplazados de la posición de anclaje óptima. A continuación se puede observar cómo afecta a la rigidez de la estructura.

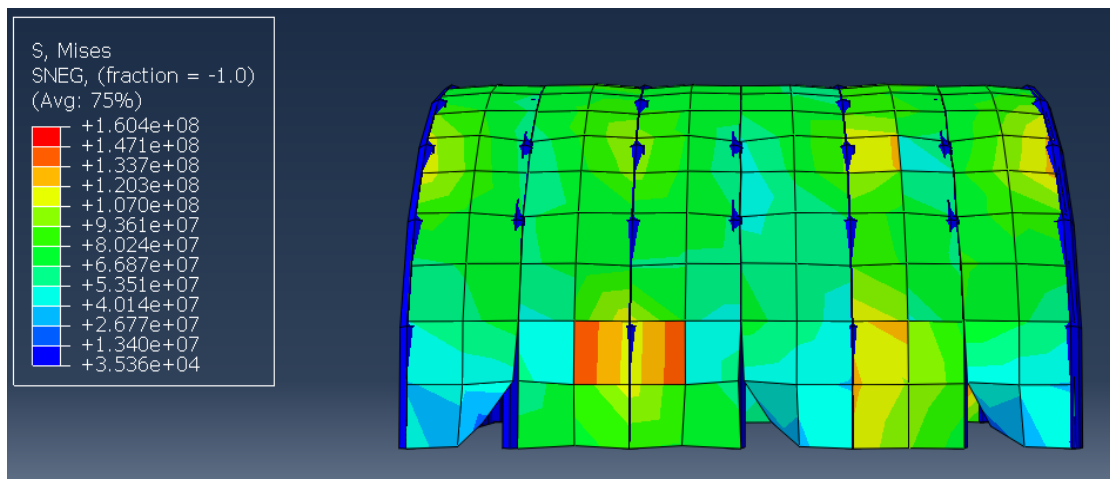


Figura 43. Vista lateral tensiones

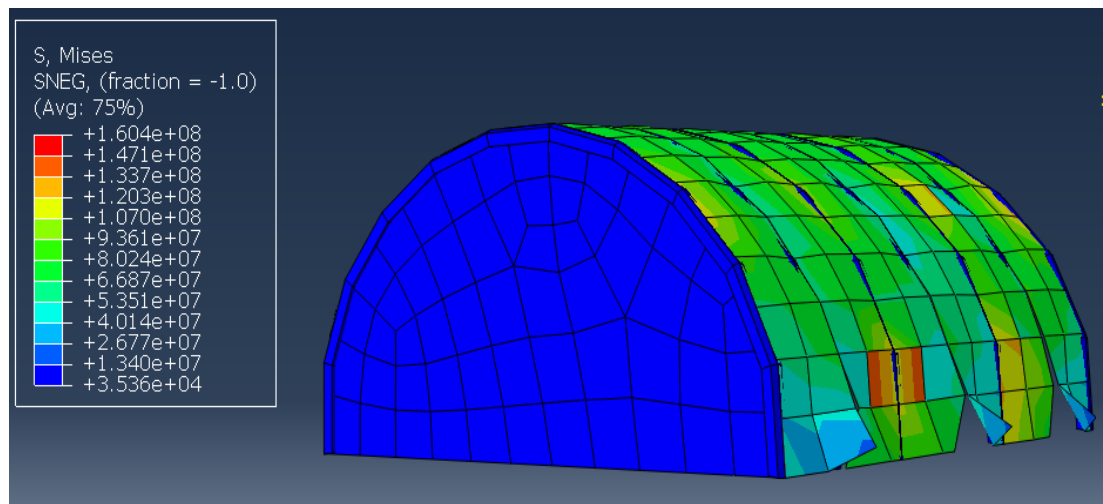


Figura 44. Vista diagonal tensiones

Los pórticos que estaban mal ubicados son los que han hecho colapsar la estructura, en la posición uno, tres y seis. Las tensiones que soporta esta zona son muy elevadas con respecto al resto, llegando a alcanzar valores de 160 MPa; esta tensión no provoca la fractura de la fibra de vidrio ya que su resistencia es superior. Lo que si provoca es una distorsión de la estructura llegando a deformarla de manera considerable.

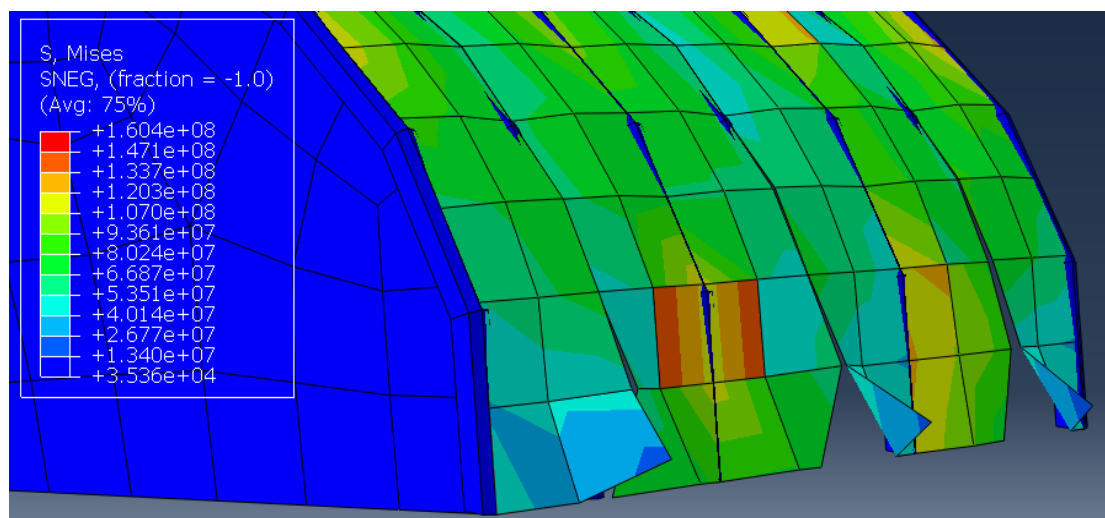


Figura 45. Tensiones máximas

En lo que se refiere a los desplazamientos:

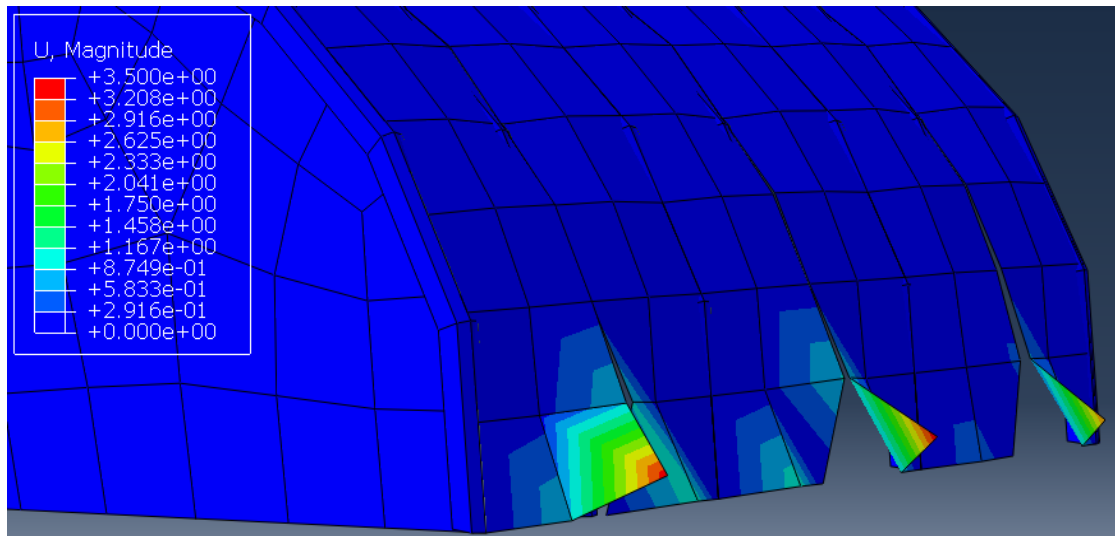


Figura 46. Desplazamientos máximos

Se observa como las paredes que han sido deformadas experimentan un desplazamiento muy considerable llegando a alcanzar valores de entre 2,5 y 3,5 m.

Como remedio a este problema se ha tomado la siguiente consideración: no se puede permitir que la estructura colapse porque se trata de una configuración que alberga en su interior a personas físicas por lo que ésta no es una opción posible.

Al tratarse de un desplazamiento tan pequeño con respecto a las dimensiones de la estructura, no es viable desmontar para después volver a efectuar el montaje, ya que se puede incurrir en los mismos problemas o incluso peores. Por lo que la solución que se ha aportado al problema es colocar una sujeción en las bases de aquellas paredes que colapsan para evitar este fenómeno. En este software de simulación se consigue esta sujeción por medio de un empotramiento en la mitad de la pared, es decir, a unos 2,5 m. Estos empotramientos se han colocado en el lado izquierdo de la estructura.

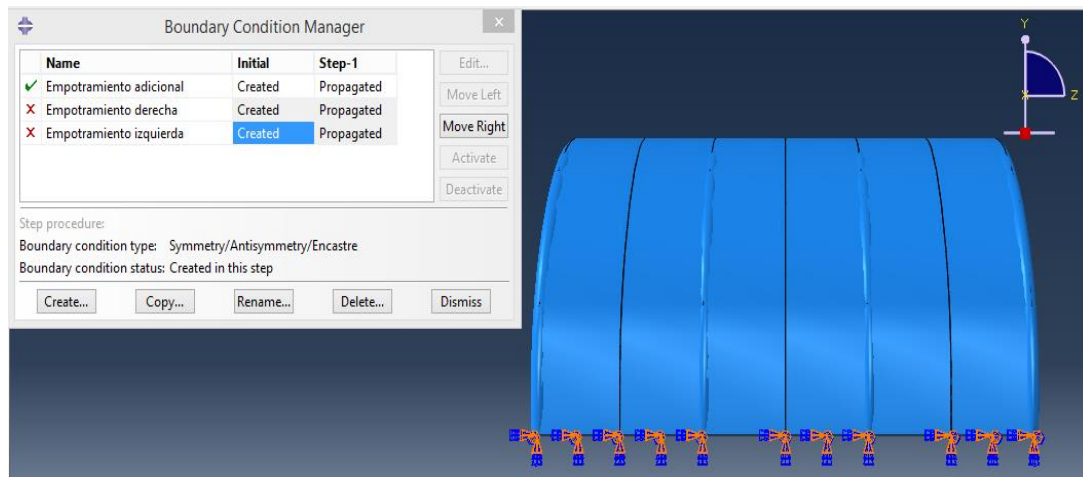


Figura 47. Empotramiento adicional

Tras esta modificación se vuelve a lanzar el archivo para que el programa ejecute el problema.

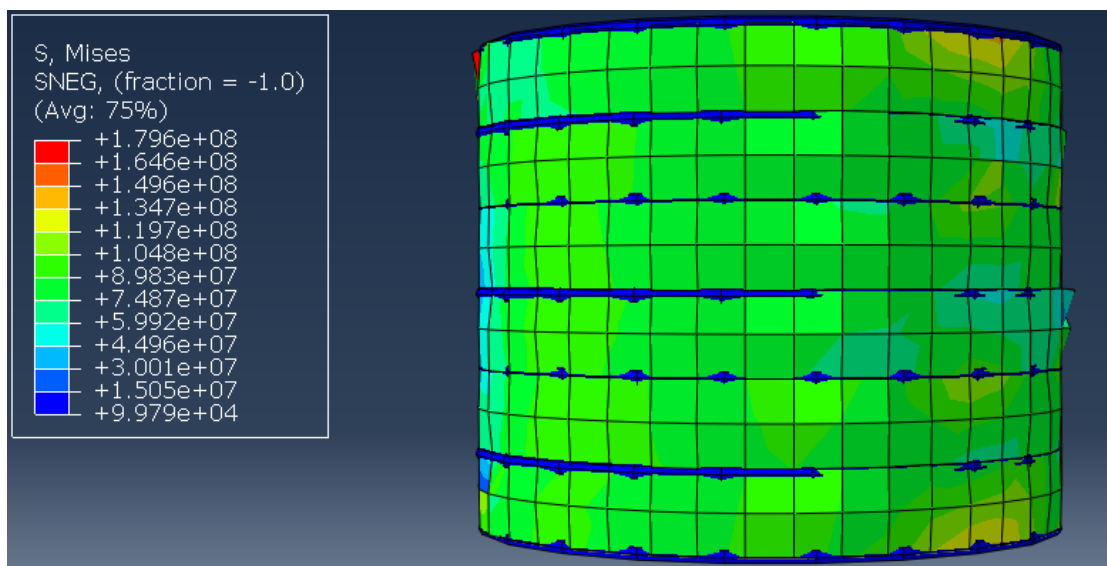


Figura 48. Vista de planta

Se pueden sacar varias conclusiones ante esta pequeña modificación de la estructura: En primer lugar se observa como la tensión máxima que experimenta la configuración ha aumentado hasta los 176 MPa, como lo ha hecho el resto de la estructura. Esto se debe a las coacciones adicionales que se han colocado en las zonas donde se producían los desplazamientos excesivos.

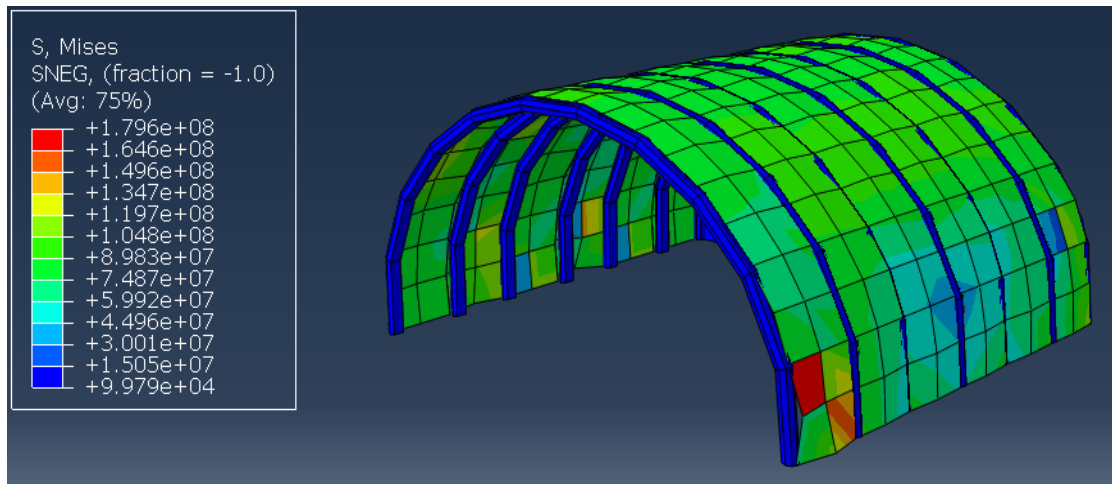


Figura 49. Vista isométrica

En lo que se refiere a los desplazamientos:

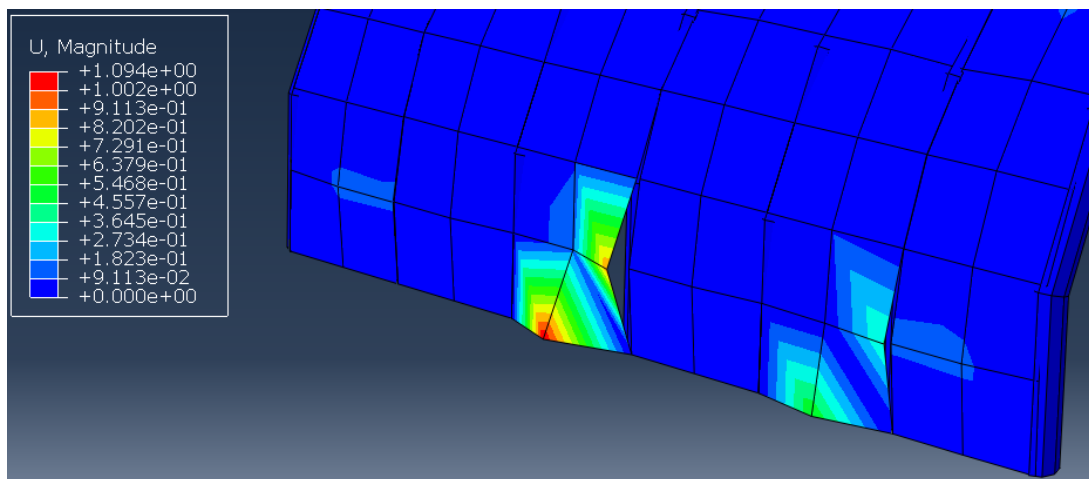


Figura 50. Desplazamientos

Los valores máximos de los desplazamientos se han reducido considerablemente, concretamente hasta valores de 1 m. La reducción ha sido entorno al doble con respecto al primer caso.

8.1 Trabajos futuros

En este proyecto se ha analizado en profundidad el uso de una estructura neumática con elementos hinchables y sin ningún elemento rígido; en un futuro se podrían realizar algunas modificaciones al respecto:

- Modelización de elementos rigidizadores como pueden ser los cables y comprobar su comportamiento.
- Añadir elementos ajenos a la propia configuración de la estructura: puertas y ventanas.
- Realizar una estructura neumática no simétrica y analizar su comportamiento ante un sistema de cargas.
- Utilizar otros materiales para las partes que componen la estructura.
- Realizar el análisis de esta estructura sin la restricción en el número de nodos y observar los resultados con respecto al diseño actual.

9. PRESUPUESTO

En este último capítulo se explicará el coste monetario que tendrá el proyecto, desglosado en diversas partidas.

PRESUPUESTO DE PROYECTO

1. Autor: Álvaro Iglesias Herradón

2. Departamento: Estructuras y Medios Continuos, Ingeniería Mecánica.

3. Descripción del proyecto:

Cálculo y diseño de un hospital de emergencias de estructura portante neumática.

Título: Diseño de un hospital de campaña

Duración (meses): 3

Tasa costes indirectos: 15 %

4. Presupuesto total del proyecto:

Euros 8802,84

5. Desglose del presupuesto:

PERSONAL				
Apellidos y Nombre	Categoría	Dedicación [horas/mes]	Coste mensual [€/mes]	Coste total [€]
José Antonio Loya Lorenzo	Ing. Senior	0,3	4287,35	1286,21
Álvaro Iglesias Herradón	Ing. Técnico	3	2364,53	7093,59
			Total	8379.8

EQUIPOS					
Descripción	Coste unitario [€]	Uso dedicado al proyecto [%]	Dedicación [meses]	Depreciación [meses]	Amort.* [€]
Ordenador	799	100	3	20	119,85
ABAQUS	0	80	2	20	0
MS Office	69	70	2	20	5,52
Total					125,37

*Cálculo de amortización =

$$\frac{\text{Dedicación [meses]} \times \text{Coste unitario [€]} \times \text{Uso dedicado al proyecto [\%]}}{\text{Depreciación [meses]}}$$

6. Desglose de costes totales:

Partidas presupuestas	Costes
Coste de personal	8379,8
Coste de equipos	125,37
Costes indirectos	1275,78
Descuento	9780,94
Total	8802,84

El presupuesto total de este proyecto asciende a OCHO MIL OCHOCIENTOS DOS EUROS CON OCHENTA Y CUATRO CÉNTIMOS (8802,84 €)

3 de Septiembre de 2018
Fdo. Álvaro Iglesias Herradón

10.BIBLIOGRAFÍA

- [1] EFE “Ni el invierno frena la llegada de refugiados a la isla griega de Lesbos”, *Periódico El Espectador*, 29-11-2015
Disponible en: www.elespectador.com/noticias/elmundo/ni-el-invierno-frena-llegada-de-refugiados-isla-griega-articulo-602301
- [2] Empresa Tent Global, www.tentglobal.com/carpa_presurizada_hinchables
- [3] Empresa Grupo Friends, <https://grupofriends.com/blog/tipo-carpa-elegir-evento/>
- [4] F. William Lanchester, “Construction of tents for field-hospitals, depots, and like purposes” U.S. Patente 1302182A, 29 de Abril, 1917.
- [5] Maydana Angel y Larotonda Hugo, “Estructuras Neumáticas”, Universidad Nacional de la Plata – Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
- [6] L. Basset Salom, “Estructuras neumáticas”. Dpto. de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2013.
Disponible en:
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/30383/Estructuras%20neum%C3%A1ticas.pdf?sequence=1>
- [7] M. Valtuena Tinoco, “Estructuras neumáticas. Habitar en situaciones de emergencia”, Trabajo fin de grado, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2018.
Disponible en: http://oa.upm.es/50510/1/TFG_Valtuena_Tinoco_Maria.pdf
- [8] *Estructuras Temporales. Carpas. Seguridad*. UNE –EN 13782-2015
- [9] Página web Hikersbay, <http://hikersbay.com/climate-conditions/greece/lesbos/climate-conditions-in-lesbos.html?lang=en#weather-temperature-months>.
- [10] Condiciones climatológicas en Lesbos,
es.windfinder.com/windstatistics/lesbos_sigri_buoy
- [11] Empresa Zhangjiagang Xiehe Medical,
http://www.medicalexpo.es/prod/zhangjiagang-xiehe-medical-apparatus-instruments-70612.html#product-item_674657
- [12] Empresa Diagonal 80, diagonal80.com/noticias/vinilo-e-impresion-digital/
- [13] Empresa Fibra de Vidrio Uno, <http://fibradevidriouno.com/propiedades-de-la-fibra-de-vidrio/index.html>

ANEXO. GLOSARIO

AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación
CTE	Código Técnico
SE	Seguridad Estructural
AE	Acciones en la edificación